Introduction à la programmation en Python

Yann Thorimbert

Année scolaire 2025-2026

Préface

Ce document a été rédigé pour servir de support de cours aux élèves d'informatique de première année (et en partie seconde année) du collège de Genève. Il incorpore les éléments du plan d'études relatifs à la programmation. L'algorithmique fait l'objet d'un document séparé, tout comme les principes de fonctionnement des ordinateurs.

Bien qu'il se veuille indépendant de tout autre support, ce cours va de pair avec des documents et explications orales fournies par l'enseignant. En particulier, des exercices de consolidation, explications orales supplémentaires et autres retours personnalisés sont nécessaires pour que la matière du cours soit complètement acquise par un élève.

La branche informatique étant nouvellement introduite au moment de la rédaction de ce document (2021), le lecteur est invité à signaler toute erreur ou question afin de participer à l'amélioration du polycopié : `yann.thorimbert@gmail.com`.

Table des matières

1 Introduction **6**

1.1 Qu'est-ce que la programmation ? 6

1.2 Les langages de programmation 7

1.2.1 Qu'est-ce qu'un langage de programmation ? 7

1.2.2 Le langage Python 7

1.3 Avantages et désavantages de Python 9

1.4 Exécuter un code et afficher un message 10

1.5 Développer un code 10

1.5.1 Les commentaires 10

1.5.2 L'ordre d'exécution des instructions 11

1.6 Introduction à la programmation avec le module Turtle 11

1.6.1 Exercices sur les commandes de base 13

1.6.2 Répétition automatique d'instructions 13

2 Les variables **16**

2.1 Déclarer des variables 17

2.1.1 Comment nommer les variables ? 18

2.1.2 Nom, valeur et assignation 19

2.2 Les types de variables 20

2.2.1 Les nombres entiers 21

2.2.2 Les nombres à virgule 21

2.2.3 Les textes . . . 21
2.2.4 Les booléens . . . 22
2.2.5 Afficher le type de variable . . . 23
2.2.6 Inputs et outputs . . . 24
2.3 Les conversions de type . . . 25
2.4 Les opérations sur les variables . . . 27
2.5 L'opérateur modulo . . . 29
2.6 Les opérateurs d'assignement . . . 30

3 Les conditions **31**
3.1 Les opérateurs de comparaison . . . 32
3.2 Les opérateurs logiques . . . 33
3.3 Utilisation du `elif` . . . 34
3.4 Conditions imbriquées . . . 37
3.4.1 La valeur `None` . . . 38

4 Les fonctions **41**
4.1 Les arguments d'une fonction . . . 42
4.2 Portée des variables . . . 44
4.3 Valeur de retour . . . 45
4.4 Affichage *versus* retour de valeur . . . 47
4.5 Fonctions récursives . . . 47

5 Les boucles **50**
5.1 Les boucles `while` . . . 51
5.1.1 Structure de base . . . 51
5.1.2 Les boucles « infinies » . . . 51
5.2 Les boucles `for` . . . 52

5.2.1 Structure de base 52
5.2.2 La fonction `range` 53
5.3 Exercices supplémentaires avec le module turtle 56
5.4 Exercices turtle à propos des couleurs et des boucles 57

6 Les listes **60**
6.1 Déclarer une liste et accéder à ses éléments 60
6.2 Parcourir une liste 61
6.3 Manipuler une liste 63
6.4 Itération sur les éléments d'une liste 65
6.5 Mutabilité et immutabilité 66
6.6 Les tuples 67
6.7 Accéder à des parties d'une liste 68

7 Manipulation des chaînes de caractères **69**

8 Nombres pseudo-aléatoires **74**
8.1 Génération d'un `int` aléatoire 74
8.2 Génération d'un `float` aléatoire 76

9 Pour aller plus loin **78**
9.1 Les dictionnaires 78
9.2 Les classes 81
9.2.1 Définition d'une classe 82
9.3 Les modules et les packages 83
9.4 Gestion des environnements avec venv 85
9.5 Les graphiques avec Matplotlib 85
9.6 Lecture et écriture de fichiers 88
9.6.1 Lecture et écriture de fichiers texte 88

9.6.2 Traitement des exceptions 89
9.6.3 Écriture et lecture de structures de données avec Pickle 89
9.7 Les arbres 91
9.7.1 Propriétés d'un arbre 91
9.7.2 Structure de donnée 92
9.7.3 Parcours d'un arbre 93

Chapitre 1

Introduction

1.1 Qu'est-ce que la programmation ?

Comme nous l'avons vu lors des premiers cours de l'année, « informatique » est un terme très large qui désigne, dans la langue française, une multitude de domaines différents :

- La bureautique (traitement de textes, diapositives, tableurs, ...)
- La technologie des ordinateurs ou « hardware », c'est-à-dire ce qui constitue les ordinateurs au niveau matériel.
- La science informatique et l'algorithmique, c'est-à-dire les mathématiques qui servent à décrire un ordinateur et les instructions qu'il peut exécuter.
- **La programmation, c'est-à-dire l'art de programmer des logiciels** [1]**.**

Dans cette partie du cours, c'est ce dernier point qui va nous intéresser. Nous allons apprendre à donner des instructions à un ordinateur afin qu'il exécute certaines tâches automatiquement ou en réaction à nos agissements. Par exemple : écrire une application qui indique la bonne quantité d'ingrédients pour une recette ; écrire un mini jeu-vidéo ; écrire une application qui permet d'afficher automatiquement à l'écran le barème des points d'une épreuve.

En programmation et dans ce cours, nous allons souvent utiliser deux termes : programmeur et utilisateur. Le **programmeur** décide des instructions à donner à l'ordinateur afin de construire une application. L'**utilisateur** est la personne qui utilise l'application. L'utilisateur ne voit pas les instructions que le programmeur a écrites. L'utilisateur n'a pas besoin de connaître un langage de programmation ; le programmeur, oui !

Exemple : les programmeurs de l'application « Horloge » sur votre téléphone ont écrit un code dans un langage de programmation. Lorsque vous utilisez l'application pour régler votre réveil-matin [2], vous ne voyez pas le code des programmeurs. Vous utilisez simplement l'application sans devoir réfléchir a ce qui est « caché » derrière.

1. Rappel : dans ce cours, « logiciel » et « application » sont des synonymes !
2. Car vous ne souhaitez pas arriver en retard à votre cours d'informatique, par exemple.

1.2 Les langages de programmation

Il existe plein de façons différentes de faire de la programmation. En effet, il existe non seulement une multitude de langages de programmation, mais en plus il existe de nombreux styles de programmation. Dans ce cours, nous allons adopter un langage et un style de programmation donnés. Il faut garder à l'esprit que ce n'est là qu'un aperçu du monde de la programmation.

1.2.1 Qu'est-ce qu'un langage de programmation ?

Un langage de programmation définit une façon de donner des instructions à l'ordinateur. Nous avons vu que l'ordinateur travaillait avec des nombres en binaire. Comment passer d'un ordre en français, comme par exemple « colorier en bleu le pixel en haut à gauche de l'écran », à un ordre en binaire que l'ordinateur peut comprendre ? C'est en grande partie le langage de programmation qui nous permet de le faire.

Tout comme il existe plusieurs façons de dire le mot « pomme » à travers le monde, il existe plusieurs façons d'ordonner à l'ordinateur de colorier en bleu le pixel en haut à gauche de l'écran.

Voici un premier exemple d'instruction que l'on peut donner à l'ordinateur. Dans le bout de code ci-dessous, on demande à la machine d'afficher "Bonjour tout le monde" dans le **terminal**.

```
print("Bonjour tout le monde")
```

Cette instruction a été donnée à l'ordinateur dans le langage Python. Il est en mesure de l'exécuter s'il comprend ce langage.

1.2.2 Le langage Python

Python est un langage de programmation parmi d'autres. Ses deux caractéristiques principales sont :

- Il est très répandu de nos jours dans le monde professionnel et le monde académique.

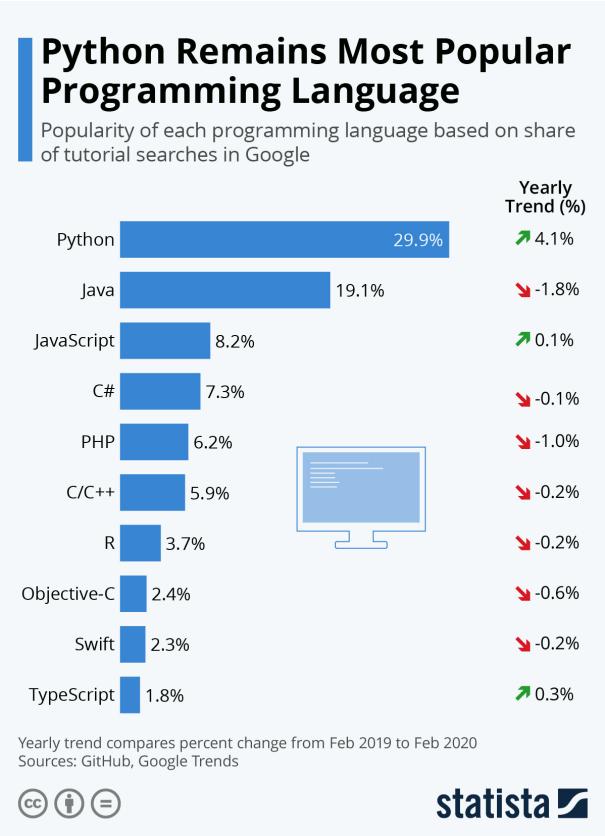

Python Remains Most Popular Programming Language
Popularity of each programming language based on share of tutorial searches in Google
Yearly Trend (%)
Python 29.9% 4.1%
Java 19.1% -1.8%
JavaScript 8.2% 0.1%
C# 7.3% -0.1%
PHP 6.2% -1.0%
C/C++ 5.9% -0.2%
R 3.7% -0.2%
Objective-C 2.4% -0.6%
Swift 2.3% -0.2%
TypeScript 1.8% 0.3%
Yearly trend compares percent change from Feb 2019 to Feb 2020
Sources: GitHub, Google Trends
statista

FIGURE 1.1 – Popularité de différents langages mesurée comme le nombre de recherches de tutoriaux sur le web, en 2020. Source : statista.com

- C'est un langage dit de « haut niveau ». Cela veut dire que, lorsqu'on programme en Python, on n'a en général moins besoin de se soucier de ce qu'il se passe exactement dans le processeur et dans la mémoire vive que lorsqu'on programme avec un langage « bas niveau » comme le C ou le C++. En Python, on est en quelque sorte plus proche du langage des humains que de celui de la machine. Pour certaines tâches, Python est donc plus facile d'utilisation.

Pour aller plus loin : les couches d'abstraction

En Fig. 1.2 sont montrées les couches de langages pour passer d'un ordre en langage naturel (par exemple le français) à un ordre exprimé en binaire pour la machine. Les instructions qui sont exprimées dans une couche doivent êtres traduites dans la couche du dessous pour que la chaîne fonctionne.

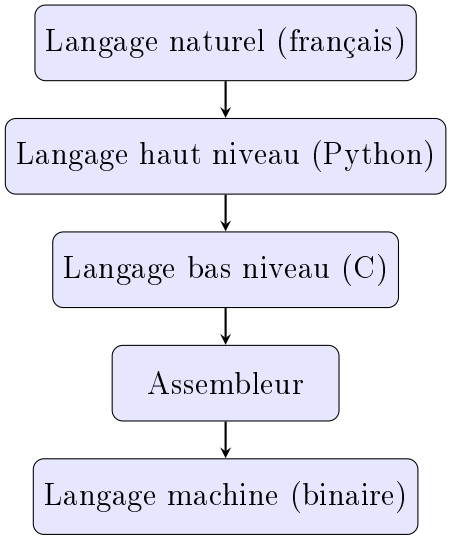


FIGURE 1.2 – Couches de langages de programmation pour passer du langage naturel au langage de la machine, avec des exemples entre parenthèses.

1.3 Avantages et désavantages de Python

Au moment où ce document est écrit (2024), Python est largement le langage le plus recherché sur Google [3].

Avantages de Python :

- Python est installé par défaut sur la plupart des OS modernes.
- C'est un langage qui permet de facilement écrire des programmes **multi plate-formes** : il faut donc peu se soucier de savoir si l'utilisateur de votre code utilise Windows, MacOS, Ubuntu, iOS, Android, etc.
- Il existe une grande **communauté** de codeurs en Python, ce qui signifie que l'aide et la documentation sont faciles à trouver sur le web.
- Python impose une façon de coder très stricte, qui permet dans certains contextes de rendre le code plus **lisible** que dans d'autres langages de programmation.

Désavantages de Python :

- Comme la plupart des langages haut niveau, Python peut s'avérer peu performant pour certaines tâches (cela nous importe peu dans ce cours).
- Comme le langage est moins rigoureux que d'autres, il est possible de contracter de mauvaises habitudes de programmation en Python plus que dans d'autres langages, notamment en ce qui concerne le type des données (voir chapitre 2).

3. `http://pypl.github.io/PYPL.html`

1.4 Exécuter un code et afficher un message

Voici les étapes à suivre pour créer et exécuter un code en Python.

1. Créez un fichier nommé `bonjour.py` dans votre espace personnel.
2. Ouvrez le fichier avec un éditeur de texte et écrivez :

```
print("Hello, world")
```

3. Avec un terminal (suivre les instructions de l'enseignant) exécutez le script que vous venez d'écrire.

L'exercice précédent permet d'obtenir un message dans votre terminal. Ce message contient le texte que vous avez indiqué dans votre code Python (aussi nommé « script »).

1.5 Développer un code

1.5.1 Les commentaires

Il est impératif de laisser des notes claires sur la logique du code que vous écrivez. Cela aide les autres à comprendre votre code (on code rarement seul dans la réalité). Cela vous aide également à comprendre votre propre code lorsque celui-ci est très grand et complexe, ou que vous n'avez pas travaillé dessus depuis quelques temps.

Les commentaires servent aux programmeurs qui lisent le code. Au moment d'exécuter les instructions, l'ordinateur ignore toujours les commentaires ; vous pouvez donc les écrire comme bon vous semble pourvu qu'ils soient clairs et utiles.

Commentaire sur une ligne

Pour insérer un commentaire simple, on utilise le dièse « # » :

```
print("Bonjour...") #Ceci est mon premier commentaire !
print("Au-revoir !") #Ceci est mon second commentaire...
#print("Rebonjour !") #Cette instruction a été commentée.
```

Commentaire multilignes

Pour insérer un commentaire sur plusieurs lignes, on peut entre autres utiliser les triple guillemets """ ou la triple apostrophe ''' avant et après la portion de code à ignorer :

```
print("Hello, world.")
"""Bonjour,
Bienvenu dans mon code.
Ceci est un commentaire sur plusieurs lignes.
Les lignes de commentaires sont ignorées au moment de l'exécution.
On peut s'en servir pour expliquer le code."""
print("Au-revoir !")
```

En plus d'expliquer le code, les commentaires sont souvent utilisés par les programmeurs pour garder « de côté » des bouts de code sans avoir à les effacer. Il suffit de commenter ou « décommenter » les lignes de code en question pour obtenir ou enlever un effet, lorsqu'on débogue notre application.

La plupart des éditeurs de code (comme Thonny, par exemple) proposent des raccourcis clavier pour commenter/décommenter d'un seul coup plusieurs lignes. Il est capital de connaître ces raccourcis pour ne pas perdre de temps à commenter les lignes unes à unes !

1.5.2 L'ordre d'exécution des instructions

Regardons le code suivant, où le numéro des lignes a été indiqué à gauche pour vous aider (mais ces numéros ne font pas partie du code).

```
print("Ceci est le premier message.")
print("Ceci est le second message.")
print("Ceci est le troisième message.")
```

Si l'on exécute ce code, on observe que les instructions sont exécutées les unes après les autres, de la première à la dernière ligne en commençant par le haut. On dit alors que les instructions sont exécutés **séquentiellement**. De nos jours, de nombreux codes sont également écrits pour être exécutés en **parallèle** (c'est-à-dire non-séquentiellement). Dans ce cours, nous considérerons toujours des codes séquentiels.

1.6 Introduction à la programmation avec le module Turtle

Dans cette section, nous allons effectuer un passage en revue de nombreuses notions de programmation qui ne seront détaillées que dans les chapitres suivants. L'objectif est ici de vous donner un avant-goût de ce que vous pourrez faire avec Python ; si vous préférez lire une introduction détaillée à chaque concept, il vaut mieux commencer dès maintenant le chapitre 2 de ce cours.

La plupart des langages de programmation populaires proposent aux novices un module permettant de dessiner des formes géométriques simples. En Python, ce module

s'appelle `turtle`. Il permet de dessiner des formes géométriques en donnant des instructions à une tortue virtuelle : il faut s'imaginer l'animal sur une vaste plage de sable fin ; le dessin est constitué par la trace de sa trajectoire sur le sable. Afin d'éviter toute confusion, il faudrait plutôt s'imaginer être au téléphone avec un taxi qui se déplace dans une ville. Vous lui donnez des instructions comme : tourne à droite, avance de 100 m, etc. Voici la nuance : on ne dit pas au taxi de se diriger vers tel ou tel endroit précis, mais on lui donne des instructions sur le sens dans lequel il doit tourner le volant. Ces instructions sont donc données **du point de vue** du taxi (ou de la tortue), pas du point de vue externe de l'observateur (ou du programmeur).

Voici comment initialiser un fichier Python pour dessiner avec la tortue :

1. Créez un fichier vide et nommez-le `exercice_tortue.py`
2. Afin d'avertir Python que nous allons donner des instructions en rapport avec le module de la tortue, écrivez comme première ligne du fichier :
   `from turtle import *`
3. Dans le fichier que vous venez d'ouvrir, vous pouvez écrire des instructions afin de demander à l'ordinateur de faire un dessin. Dans ce cours, on écrira toujours une seule instruction par ligne.

Le tableau ci-dessous réunit quelques exemples d'instructions que l'on peut donner à la tortue :

Exemple d'instruction	Effet
`forward(100)`	Avance de 100 pixels dans sa direction actuelle
`left(45)`	Tourne sur sa gauche de 45 degrés
`right(45)`	Tourne sur sa droite de 45 degrés
`goto(50,63)`	Se « téléporte » en coordonnée (50 ;63)
`color("red")`	Prend la couleur rouge pour les futurs traits
`pensize(3)`	Donne une épaisseur du tracé de 3 pixels pour les futurs traits
`penup()`	« Lève le crayon » (les futurs déplacement ne sont pas tracés)
`pendown()`	« Baisse le crayon » (les futurs déplacement sont tracés)

Vous pouvez tester ces instructions avant de commencer les exercices donnés plus bas. Notez que les distances comme les angles peuvent tout à fait être des nombres à virgule. Par exemple, `forward(100.5)` avance de 100.5 pixels (le point est utilisé en lieu et place de la virgule, comme sur une calculatrice).

Notez que, lorsque le dessin incorpore de nombreuses instructions, il peut prendre du temps à s'afficher. Dans de tels cas, il peut être utile de désactiver l'affichage du dessin pour ne le réactiver qu'une fois les instructions terminées. Pour ce faire, on utilise les instructions `tracer(0)` et `tracer(1)` pour désactiver puis réactiver l'affichage du dessin. Si vous oubliez de réactiver l'affichage, vous ne verrez pas le dessin !

Lorsque vous ne trouvez pas la solution, dessinez le problème sur du papier et faites les calculs nécessaires !

1.6.1 Exercices sur les commandes de base

Exercice 1.0

Dessinez un carré de 100 pixels de côté.

Exercice 1.1

Dessinez un carré bleu de 200 pixels de côté.

Exercice 1.2

Dessinez un rectangle de longueur (côtés horizontaux) de 200 pixels et de hauteur (côtés verticaux) de 50 pixels.

Exercice 1.3

Dessinez un triangle rectangle de couleur rouge et d'épaisseur de 3 pixels. Si besoin, effectuez d'abord l'exercice sur papier en utilisant le théorème de Pythagore.

Exercice 1.4

Dessinez un polygone en forme de "maison".

Pour aller plus loin : plusieurs instructions par ligne

Il est possible, bien que déconseillé dans ce cours, de donner plusieurs instructions par ligne de code. Pour cela, il faut utiliser le point-virgule, comme ceci :

```
forward(100); left(90);
```

Dans beaucoup d'autres langages de programmation, le point-virgule est obligatoire pour signaler la fin d'une instruction. Cependant, en Python, un retour à la ligne indique implicitement une fin d'instruction.

1.6.2 Répétition automatique d'instructions

Pour répéter des instructions sans devoir recopier le code de façon répétitive, on peut entre autres utiliser une « boucle for ». Attention : les boucles `for` sont en réalité un vaste sujet que nous détaillons dans le chapitre 5. Pour l'instant, nous nous contentons de les utiliser sans chercher à en comprendre tous les détails.

Exercice 1.5

Essayez le code suivant (attention à recopier à l'identique) :

```
for i in range(4):
    forward(100)
    right(90)
```

Quelle forme le code ci-dessus permet-il de faire ?

Exercice 1.6

Essayez le code suivant (attention à recopier à l'identique) :

```
for i in range(8):
    forward(100)
    right(45)
```

Quelle forme le code ci-dessus permet-il de faire ?

Exercice 1.7

Écrivez un code utilisant une boucle qui permet de dessiner un hexagone (polygone à 6 côtés). Notez que Python peut effectuer certains calculs lui-même. Par exemple, au lieu d'effectuer vous-même le résultat de la division 360 / 6, vous pouvez demander à Python de le faire pour vous. Pour ce faire, vous pouvez écrire `360 / 6` directement dans le code.

Exercice 1.8

Écrivez un code utilisant une boucle qui permet de dessiner un dodécagone (polygone à 12 côtés).

Exercice 1.9

Écrivez un code utilisant une boucle qui permet de dessiner un polygone à 50 côtés.

Exercice 1.10

Écrivez un code utilisant une boucle qui permet de dessiner un polygone à 1000 côtés.

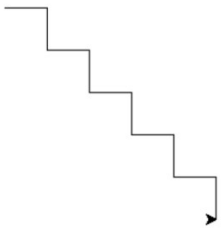
Exercice 1.11

Écrivez un code utilisant une boucle qui permet de dessiner une étoile à 5 branches.

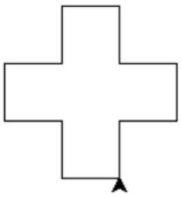
Exercice 1.12

Générez les dessins suivants en utilisant une boucle. Votre code (sans compter from turtle import *) ne doit pas compter plus de lignes que le nombre indiqué. L'orientation finale de la tortue n'a pas d'importance.

A) 5 lignes



B) 8 lignes



C) 9 lignes

D) 6 lignes

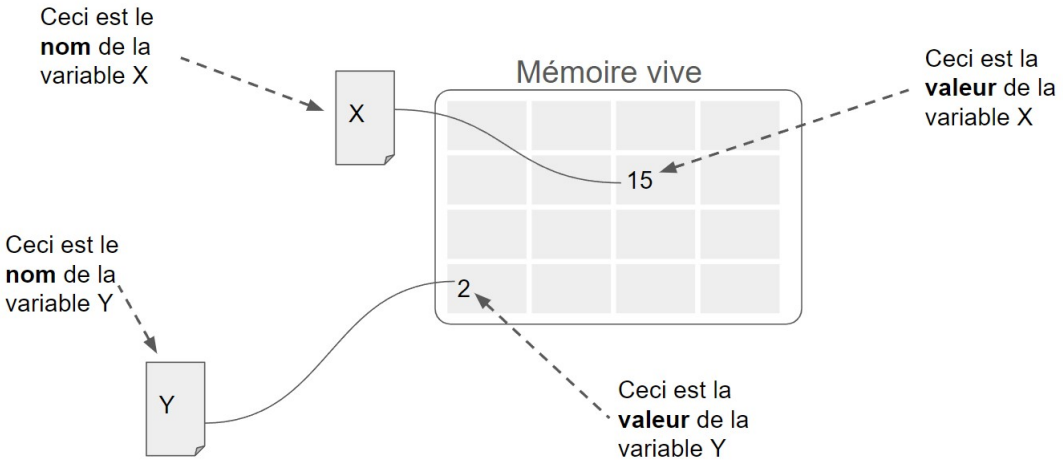
Chapitre 2

Les variables

Une variable est un moyen de demander à l'ordinateur de retenir une information.

Le but de la programmation impérative[1] étant de pouvoir décrire des « recettes » à l'ordinateur, il faut pouvoir parler des différents objets sur lesquels porte la recette. C'est le rôle des variables. Dans ce chapitre, nous allons voir comment déclarer des variables, comment les manipuler et comment les utiliser dans des opérations mathématiques.

On peut s'imaginer les variables comme des boîtes contenant des nombres ou des objets qui nous intéressent. Ces boîtes ont un nom et contiennent une valeur. En effet, quand nous rangeons une valeur dans la mémoire de l'ordinateur, il faut un moyen de pouvoir la retrouver. C'est précisément le rôle du nom, qui est un peu comme l'étiquette que l'on colle sur une boîte pour savoir ce qu'elle contient. La figure ci-dessous illustre cela.


Ceci est le **nom** de la variable X
X
Mémoire vive
Ceci est la **valeur** de la variable X
15
Ceci est le **nom** de la variable Y
2
Y
Ceci est la **valeur** de la variable Y

Supposons maintenant que nous écrivions une applications très simple. L'utilisateur de l'application est invité à insérer son nom, puis un message est diffusé à l'écran. Si l'utilisateur s'appelle Alice, alors le message affiché doit être : « Bonjour, Alice ! ».

Le code de cette application contiendra au moins deux lignes :

1. Nous ne traitons pas dans ce cours de certains paradigmes de programmation tels que la programmation fonctionnelle, qui adopte un point de vue complètement différent.

1. Demander son nom à l'utilisateur, et le **retenir** en mémoire.
2. **Afficher** le texte à l'écran, en utilisant le nom qui a été retenu.

Lorsque nous demandons à l'ordinateur d'afficher le prénom précédemment renseigné, il a fallut que ce dernier soit retenu quelque part dans la mémoire de l'ordinateur. C'est pourquoi nous avons utilisé une variable.

Si vous avez pu expérimenter le module turtle, la **paramétrisation** d'un dessin constitue un exemple sans doute plus parlant de l'utilisation de variables. Supposons que vous souhaitiez écrire une forme (prenons un carré pour l'exemple) qui possède une certaine taille, une certaine épaisseur et une certaine couleur.

Par exemple, le code suivant permet de choisir une bonne fois pour toute la taille d'un carré grâce à une variable, sans avoir besoin d'adapter cette valeur dans chaque instruction donnée à la tortue :

```
taille = 100 # il suffit de changer cette valeur uniquement
forward(taille)
left(90)
forward(taille)
left(90)
forward(taille)
left(90)
forward(taille)
left(90)
```

2.1 Déclarer des variables

Pour utiliser une variable, il faut d'abord la **déclarer**.

Une déclaration de variable ressemble toujours à ceci :

```
nom_de_la_variable = valeur_de_la_variable
```

Exercice 2.0

Écrivez un script contenant le code suivant :

```
nom = "Alice"
age = 16
print("L'utilisateur se nomme ", nom, " et il a ", age, " ans.")
```

Observez le résultat et modifiez le code pour qu'il affiche dans la console « L'utilisateur se nomme Bob et il a 17 ans ».

Dans l'exercice précédent, nous avons déclaré deux variables. La première contient le nom de l'utilisateur tandis que la seconde contient son âge. On commence toujours par

donner le nom de la variable à gauche du signe d'égalité (par exemple `age`). Ensuite, on indique la **valeur** de la variable après le signe d'égalité.

Exercice 2.1

Modifiez le code de l'exercice précédent afin qu'il affiche le nom de deux personnes ainsi que leur âge. Stockez les deux noms et âges dans des variables différentes (vous devez déclarer 4 variables en tout). Le résultat doit ressembler à ceci :

```
"L'utilisateur 1 se nomme Alice et il a 16 ans."
"L'utilisateur 2 se nomme Bob et il a 17 ans."
```

Pour aller plus loin : d'autres façons de déclarer des variables

Il est également possibles de déclarer plusieurs variables à la fois :

```
nom, age, surnom = "Robert", 16, "Bob"
```

Dans ce cours, nous déclarerons en général une seule variable à la fois.

2.1.1 Comment nommer les variables ?

Règles de nommage

Voici les règles à connaître pour que le nom des variables soit valide en Python (et dans la plupart des langages modernes) :

- Le nom d'une variable ne doit jamais commencer par un chiffre. Dans ce cours, le nom des variables commençera *toujours* par une lettre.
- Le nom d'une variable ne doit jamais être l'un des mots-clé du langage. Par exemple, on ne peut pas appeller une variable « if ».
- Le nom d'une variable peut contenir des lettres ou des chiffres (sauf si c'est la première lettre). Il peut également contenir les caractères underscore (« _ ») ainsi que d'autres caractères que nous n'utiliserons pas dans ce cours.
- La casse compte (par exemple, les variables `Age` et `age` ne sont pas la même chose).

Conventions de nommage et bonnes pratiques

En plus des règles mentionnées ci-dessus, nous allons nous astreindre à certaines bonnes pratiques :

- Le nom d'une variable doit être **clair et parlant**. Par exemple, dans le code du dernier exercice, « `nom` » est clair et parlant, tandis que « `n` » ne l'est pas.
- Le nom des variables commence par une minuscule. Dans ce cours, si le nom de la variable est un mot composé, on séparera chacun de ses termes par un underscore. Par exemple : `nom_utilisateur = "Alice"`.

Exercice 2.2 - Exercice non programmatique

Parmi les déclarations suivantes, lesquelles sont valides ? Cet exercice n'est pas à effectuer sur l'ordinateur. Répondez dans votre tête. Pour vérifier votre réponse, vous pouvez recopier le code et voir s'il génère une erreur.

```
age utilisateur = 12
print(age utilisateur)
```

```
age_utilisateur = 12
print(age_utilisateur)
```

```
perimetre = 4
deuxFoisPerimetre = 8
```

```
perimetre = 4
2FoisPerimetre = 8
```

```
perimetre = 4
perimetreFois2 = 8
```

```
perimetre = 4
print(Perimetre)
```

2.1.2 Nom, valeur et assignation

Dans tous les exemples précédents, le signe « = » a été utilisé pour signifier à l'ordinateur une instruction d'**assignation**. L'assignation est le fait de donner une valeur à une variable. Par exemple, dans le code suivant, on déclare en première ligne la variable `a` à laquelle on assigne la valeur 3. En seconde ligne, on lui assigne une nouvelle valeur, égale à 7.

```
a = 3
a = 7
```

À la fin de ce code, la variable `a` contient la valeur 7, et non pas 3.

Il faut faire très attention ici : **le signe d'égalité n'a pas la même signification qu'en mathématique**. En effet, en Python ce qui se trouve à gauche du signe d'égalité est toujours une variable, tandis que ce qui se trouve à droite est toujours la nouvelle valeur à assigner à cette variable. Ainsi, on peut écrire `a = a + 3` pour ajouter la valeur 3 à ce qui se trouve déjà au sein de la variable `a`. Cette dernière égalité n'est pas vraie dans

un sens mathématique ; ce n'est pas une égalité à vrai dire, c'est une assignation ! Pour cette raison, certains langages ont même adopté un autre symbole que le signe d'égalité pour l'assignation, comme la flèche. Dans ces langages, on écrirait `a` ← `a + 3` pour ajouter 3 à `a`.

Pour aller plus loin : les constantes

Parfois, il est très pratique de signifier que la valeur d'une variable n'est pas supposée changer durant l'exécution du programme. Dans les codes longs ou compliqués, cela peut beaucoup aider le programmeur et la machine. Par exemple, le nombre $\pi \approx 3.141$ est une constante mathématique ; sa valeur ne change pas d'un moment à l'autre. C'est donc une bonne idée de le définir comme telle dans le code :

```
PI = 3.141
```

Dans certains langages, il est possible de spécifier formellement lorsqu'une variable est constante. Malheureusement, cela n'est pas le cas en Python, et c'est alors simplement une question de clarté du code. Il est commun d'adopter la convention de nommer les constantes avec des lettres majuscules uniquement (comme dans l'exemple ci-dessus).

2.2 Les types de variables

Dans les exemples de la section précédente, certaines variables contenaient le nom d'une personne (par exemple « Alice »), tandis que d'autres contenaient leur âge (par exemple « 12 »).

Un langage de programmation doit distinguer différents **types** de données. Dans le code ci-dessous, on peut distinguer quatre types qui sont tout le temps utilisés en programmation :

```
a = 2.718 #ceci est un nombre à virgule (float)
b = "Alice" #ceci est une chaîne de caractères (str)
c = True #ceci est un booléen (bool)
d = 15 #ceci est un nombre entier (int)
```

Lorsque vous programmez, **vous devez toujours être capable de dire quel est le type de chaque variable que vous manipulez**. Ceci est capital pour toute la suite du cours. En particulier, en Python tous les inputs de l'utilisateur sont de type textuel ! Si l'on veut par exemple récupérer un nombre de la part de l'utilisateur, il nous faut un moyen pour convertir ce texte en un nombre.

2.2.1 Les nombres entiers

En Python, leur nom est simplement `int`, qui est l'abbrévation de « integer » en anglais. Voici un exemple contenant des déclarations de nombres entiers :

```
a = 2
b = 3
c = 1000
d = -12
```

2.2.2 Les nombres à virgule

Dans de nombreux langages importants, il existe une différence entre les nombres entiers et les nombres à virgule (« float » en anglais). Ces derniers servent à approximer les nombres réels.

Voici un exemple contenant des déclarations de nombres à virgule :

```
a = 2.4
b = 3.0
c = 1000.2555
d = -12.623
```

Par ailleurs, on peut déclarer un nombre sous la forme de notation scientifique de la façon suivante :

```
n = 3.2e8
```

Cela signifie : $n = 3,2 \cdot 10^8$. Il est également possible de représenter l'infini de la façon suivante :

```
mon_nombre_infini = float("inf")
```

2.2.3 Les textes

Pour représenter un texte, on utilise des **chaînes de caractères** (abrégé « string » en anglais). Cela désigne simplement une suite de caractères (lettres, chiffres et tout autre symbole défini dans une convention comme Unicode). Une chaîne de caractères est délimitée par des **guillemets** ou des **apostrophes**. Voici un exemple contenant des déclarations de textes :

```
a = "Alice"
b = 'Bob'
c = "Bonjour à tous !"
d = "Mon nombre préféré est le 3"
e = " " # contient un espace vide, mais c'est un texte quand même !
```

Ainsi, les deux lignes suivantes ne désignent pas la même chose :

```
a = 2.718
b = "2.718"
```

La variable `a` contient un nombre, tandis que la variable `b` contient un texte (même s'il se trouve que ce texte est fait de chiffres) ! Le chapitre 7 aborde les chaînes de caractères plus en détail.

Pour aller plus loins : les f-strings

Depuis la version 3.6 de Python, il est possible d'utiliser les f-strings pour afficher des variables dans des chaînes de caractères. Pour comprendre l'un des intérêts de cette méthode, considérons le code suivant, qui utilise la fonction `print` pour afficher le contenu de trois variables :

```
nom = "Alice"
age = 16
taille = 165
print("L'utilisateur",nom,"a",age,"ans. Il mesure",taille,"cm.")
```

Voici une version équivalente utilisant les f-strings :

```
nom = "Alice"
age = 16
taille = 165
print(f"L'utilisateur {nom} a {age} ans. Il mesure {taille} cm.")
```

Les f-strings sont de plus en plus souvent utilisés au sein de la communauté, aussi est-il important de les connaître ne serait-ce que pour comprendre le code des autres (notamment sur les forums ou les outils d'IA capables de générer du code). Ils permettent bien d'autres options de formatage des données, que nous n'aborderons pas dans ce cours.

2.2.4 Les booléens

Un variable booléenne ne peut prendre que deux valeurs : « True » ou « False ». C'est donc une variable binaire. Sur le Web, il est courant de trouver des personnes qui utilisent le nombre 1 pour signifier `True` et le nombre 0 pour signifier `False`. Nous verrons dans le chapitre sur les **conditions** que les booléens sont extrêmement utilisés en programmation !

Pour aller plus loin : la taille d'un booléen

Comme un booléen ne peut prendre que deux valeurs possibles, il est théoriquement encodable sur un seul bit. Pour des raisons pratiques, nos ordinateurs encodent tout de même les booléens sur au moins un octet ; selon l'ordinateur et la version de Python, cela peut même prendre huit octets ! On fait ce « gaspillage » pour des raisons complexes d'architecture et de performances, et parce que les ordinateurs modernes ont une mémoire qui nous le permet.

2.2.5 Afficher le type de variable

On peut accéder au type d'une variable à tout moment grâce à la fonction `type` de Python, comme dans l'exemple ci-dessous.

```
a = 2.718 #ceci est un nombre à virgule (float)
b = "Alice" #ceci est une chaîne de caractères (string)
c = True #ceci est un booléen
d = 3 #ceci est un nombre entier (int)
print(type(a)) #on affiche le type de la variable a.
print(type(b)) #on affiche le type de la variable b.
print(type(c)) #on affiche le type de la variable c.
print(type(d)) #on affiche le type de la variable d.
```

En cas de doute, n'hésitez pas à afficher un message dans la console pour vous aider à déboguer votre application. Lorsque vous programmez, vous devez toujours connaître le type des variables que vous manipulez – dans le cas contraire, cela signifie que vous ne comprenez potentiellement pas le sens des transformations que vous leur appliquez !

Pour aller plus loin : d'autres types d'objets

Nous verrons plus loin comment définir des objets de type liste ou de type dictionnaire en Python. Par ailleurs, il est courant en programmation de définir de nouveaux types de données. En particulier, un courant de programmation particulièrement populaire dans les dernières décennies et nommé la « programmation orientée objet » se base beaucoup sur la création de nouveaux types de variables par le programmeur. Dans ce cours, nous ne traiterons pas de la programmation orientée objet.

Exercice 2.3 - Exercice non programmatique

Le code ci-dessous déclare plusieurs variables. Pour chacune de ces variables, écrivez son type en commentaire. Pour tester votre réponse, il vous suffit de copier le code dans un fichier Python et de demander à afficher le type de chaque variable.

```
a = 2
b = "Bob"
c = False
d = 2.222
e = 0.0001
f = 10000
g = "   "
h = "Salut tout le monde."
i = "True"
j = 0
k = 1
```

2.2.6 Inputs et outputs

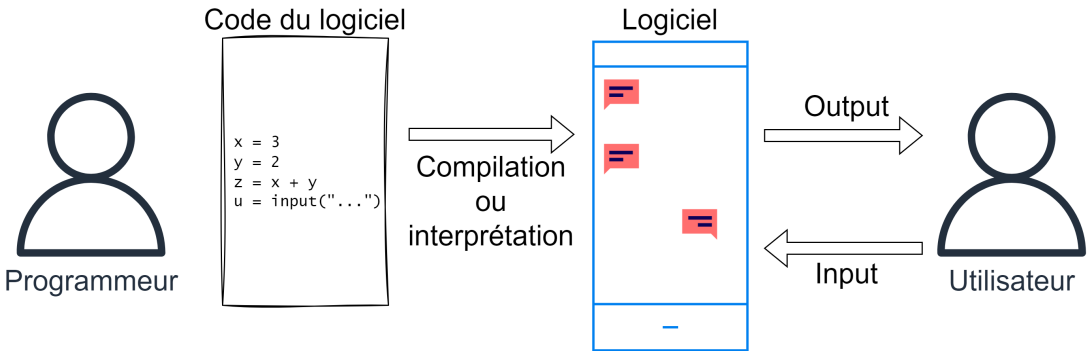
Reprenons notre exemple de code qui permet de dessiner un carré avec le module turtle. Jusqu'ici, c'est la programmeuse ou le programmeur (c'est-à-dire vous-même !) qui a choisi la taille du carré, son épaisseur et sa couleur. Comment faire pour que la personne qui **utilise** notre application puisse choisir ces valeurs ? La réponse est qu'il faut programmer l'application pour qu'elle demande ces informations à l'utilisateur. Pour cela, on utilise la fonction `input`, dont voici un exemple où l'utilisateur est invité à choisir la couleur du carré.

```
taille = 100
couleur_choisie = input("Choisissez une couleur:")
color(couleur_choisie)
forward(taille)
left(90)
forward(taille)
left(90)
forward(taille)
left(90)
forward(taille)
left(90)
```

Il est capital de comprendre que Python **attend** la réponse de l'utilisateur tant que ce dernier ne l'a pas validée en appuyant sur la touche `Entrée`. Cela signifie que le programme est **bloqué** tant que l'utilisateur n'a pas répondu. C'est pourquoi il est important de donner des instructions claires à l'utilisateur, pour qu'il sache ce qu'on attend de lui : c'est le rôle du message « Choisissez une couleur : » dans l'exemple précédent. Ce type de message est à distinguer des messages que l'on affiche à l'écran avec la fonction `print`, et

qui ne demandent rien à l'utilisateur.

Cette différence entre les rôles de programmeur et d'utilisateur est fondamentale pour la suite de ce cours. La figure ci-dessous illustre le rôle de chacun. Au quotidien, par exemple quand vous écrivez un message à quelqu'un, c'est probablement le rôle de l'utilisateur que vous endossez.



En Python, l'input se fait avec la commande `input()`, mais l'output se fait généralement avec la commande `print()`. En réalité, il existe de nombreux autres types d'input et d'outputs, qui peuvent faire appel à différents périphériques, mais ce sont là les seuls que nous utiliserons dans ce cours.

L'input, tout comme l'output, se fait dans la console Python. Vous devez être capable de distinguer la console de l'éditeur de texte dans lequel vous écrivez votre code. La console est l'endroit où vous pouvez voir le résultat de votre code, ou encore là où l'utilisateur peut entrer des valeurs, tandis que l'éditeur de texte est l'endroit où vous écrivez votre code.

Dans toutes les consignes qui suivent, à chaque fois que vous verrez une phrase comme « l'utilisateur peut entrer un nombre », cela signifie que ce n'est pas à vous (la programmeuse ou le programmeur) de décider de ce nombre, mais à la personne qui utilise votre application, qui peut-être l'enseignant, un camarade de classe, ou vous-même si vous testez votre application. Mais personne ne peut prévoir la valeur que l'utilisateur va rentrer !

Exercice 2.4 – Demander un renseignement à l'utilisateur

Écrivez un script qui demande à l'**utilisateur** d'entrer son nom, puis affiche un message disant : « Bienvenue à toi ... » avec le nom de la personne en lieu et place des points de suspension. Partez du code suivant :

```
x = input("Quel est votre nom ?")
```

2.3 Les conversions de type

Il est possible de convertir une variable d'un type en une variable d'un autre type. En anglais, on parle de « type casting ». Cela est très utile dans certains cas, par exemple

lorsqu'on veut recueillir des informations de l'utilisateur :

```
1 n_utilisateur = input("Entrez un nombre") #équivaut à str(input("..."))
2 n_plus_trois = int(n_utilisateur) + 3
3 print("Votre nombre plus trois vaut", n_plus_trois)
```

La ligne 2 du code précédent générerait une erreur si la variable entrée par l'utilisateur n'était pas convertie en nombre entier grâce à l'instruction `int(...)`. En effet, on essayerait alors d'ajouter un nombre à une chaîne de caractère, ce qui n'a pas de sens ! Parfois, cependant, un oubli de conversion peut causer des problèmes plus subtils, comme dans l'exercice suivant.

Exercice 2.5

Exécutez le code suivant. Voyez-vous un problème mathématique dans le résultat ? Trouvez un moyen de le déboguer.

```
n_utilisateur = input("Entrez un nombre")
n_fois_deux = n_utilisateur * 2
print("Le double de votre nombre vaut", n_fois_deux)
```

Voici un tableau qui récapitule, pour chacun des types discutés jusqu'ici, l'alias qui lui est associé.

Type de variable	Alias Python
Chaîne de caractères	`str`
Nombre entier	`int`
Nombre à virgule	`float`
Booléean	`bool`

Par exemple, pour convertir le nombre 45.28 en une chaîne de caractères, il suffit d'écrire `str(45.28)`, tandis que `int(45.28)` a pour effet d'arrondir 45.28 à l'entier inférieur. Toutes les conversions ne fonctionnent pas, cependant. Par exemple, `int("Bonjour")` génère une erreur.

Dans ce cours, nous conseillons fortement d'effectuer la conversion des variables demandées à l'utilisateur aussi tôt que possible ! Cela permet de s'assurer que les variables sont bien du type attendu, et de ne pas avoir à se soucier de leur type par la suite. Par exemple :

```
x = float(input("Entrez votre taille en mètres: "))
print("Le triple de votre taille est ", 3*x)
```

2.4 Les opérations sur les variables

Il est naturel de vouloir effectuer des opérations sur les variables. Par exemple, écrivons un code qui convertit les minutes en secondes :

```
nb_minutes = 3
nb_sec = nb_minutes * 60
print(nb_minutes, " min = ", nb_sec , " sec.")
```

Exercice 2.6 – Conversion minutes-secondes

Écrivez un programme qui demande à l'utilisateur d'entrer un nombre de minutes. Ensuite, le programme affiche le nombre de secondes correspondant. Par exemple, si l'utilisateur entre 3, le programme doit afficher « 3 min = 180 sec ».

Exercice 2.7 – Conversion heures-secondes

Demandez à l'utilisateur d'introduire un nombre d'heures. Affichez à l'écran un message indiquant le nombre de secondes correspondant.

Comme on vient de le voir dans l'exemple ci-dessus, l'opération « * » indique une multiplication. Cet opérateur est défini sur les nombres : cela signifie que les variables de type `number` peuvent être multipliées entre elles. En revanche, la multiplication de deux variables de type `string` n'est pas définie ! Attention cependant, car la multiplication entre un `int` et un `string` est définie en Python : par exemple `3 * "hi"` est égal à `"hihihi"`.

Voici un tableau qui résume les opérateurs mathématiques que nous allons utiliser dans ce cours :

Symbole	Nom de l'opérateur
+	addition
-	soustraction
*	multiplication
/	division
**	puissance
%	modulo

À noter que les seuls opérateurs mathématiques du tableau qui soient défini pour les chaînes de caractères sont les additions, qui ont pour effet de concaténer deux chaînes entre elles, et la multiplication, qui a pour effet de répéter une chaîne un nombre entier de fois, comme discuté plus haut.

Exercice 2.8

Écrivez un programme qui demande un nombre à l'utilisateur et affiche ensuite la valeur du cube de ce nombre à l'écran.

Exercice 2.9 - Théorème de Pythagore automatisé

Écrivez une application qui demande à l'utilisateur d'entrer les catètes d'un triangle rectangle. Ensuite, la longueur de l'hypoténuse est affichée à l'écran. Pour calculer la racine carrée de `x`, on peut exécuter l'instruction `x**0.5`.

Exercice 2.10 - Exercice non programmatique

L'ordre des opérations suit les mêmes règles qu'en mathématiques. Cela signifie qu'il faut parfois utiliser des parenthèses pour indiquer à l'ordinateur le calcul que vous désirez lui faire faire. Considérons le code suivant :

```
a = 12
b = 2
c = 3
d = 5
# Quelle est la valeur des variables ci-dessous ?
e = a*b + d
f = a*b - c*d
g = b*(c + d)*2
h = a/b + a/c
i = h**b
```

Quel est la valeur des variables `e` à `i` ? Écrivez la réponse en commentaire des variables, puis vérifiez vos réponses en affichant la valeur des variables.

Exercice 2.11 - Formule de Viète automatisée

Écrivez une application qui demande à l'utilisateur d'entrer les valeurs a, b et c d'une équation du second degré du type $ax^2 + bx + c = 0$. Le programme affiche ensuite la valeur de $\Delta = b^2 - 4ac$ ainsi que les deux solutions. Pour cet exercice, partez du principe que Δ est forcément positif (pas besoin de traiter les cas où il ne l'est pas ; nous verrons dans le prochain chapitre comment faire cela). Les solutions sont : $x_{\pm} = \frac{-b \pm \sqrt{\Delta}}{2a}$. Comme précédemment, voici un exemple de racine carrée : le code `x**0.5` permet de calculer $\sqrt{x}$.

Pour aller plus loin : les opérations du module Math

La plupart des opérations mathématiques usuelles sont définies dans un **module** externe. Un module est un code déjà écrit par d'autres gens et que l'on peut utiliser dans notre programme. Voici quelques exemples d'utilisation du module `Math` :

```python
import math #il faut toujours importer le module pour commencer
alpha = 0.1 # angle en radians
sin_alpha = math.sin(alpha) # calcule le sinus de alpha
cos_2pi = math.cos(2*math.pi) #calcule le cosinus de 2 pi
```

Nous utiliserons très peu le module Math dans ce cours car beaucoup des fonctions mathématiques qu'il définit ne sont étudiées au collège qu'en deuxième année ou plus tard, dans le cours de mathématiques. Dans tous les cas, il ne faut pas hésiter à consulter la documentation des modules sur le web.

2.5 L'opérateur modulo

L'opérateur modulo représente le **reste** de la division entière. Par exemple : `12 % 4` vaut zéro car le reste de la division de 12 par 4 vaut zéro. De même `11 % 3 = 2` car le reste de la division de 11 par 3 vaut 2.

L'opérateur modulo est très utilisé en programmation. Il permet par exemple de tester si un nombre quelconque x est multiple de 2. En effet, si x % 2 vaut zéro, cela signifie que x est divisble par 2 (autrement dit : c'est un nombre pair).

Exercice 2.12 – Exercice non programmatique

Calculez (sur papier ou dans votre tête) la valeur des variables suivantes. Pour vérifier votre réponse, vous pouvez copier le code dans un fichier Python et afficher la valeur des variables.

```python
a = 12 % 3
b = 11 % 3
c = 12 % 5
d = 12 % 6
e = 4 % 4
f = 1 % 4
```

Exercice 2.13 – Reste de la division par 2

Écrivez un programme qui demande à l'utilisateur d'entrer un nombre entier. Ensuite, le programme affiche le reste de la division de ce nombre par 2. Par exemple, si l'utilisateur entre 7, le programme doit afficher « Le reste de la division de 7 par 2 est 1 ».

2.6 Les opérateurs d'assignement

Une fois que nous aurons vu le chapitre sur les conditions, il sera pratique de pouvoir **incrémenter** une variable. Prenons l'exemple suivant :

```
a = 3
#Imaginons qu'à la place de ce commentaire l'utilisateur fasse quelque
#chose. En réaction à cela, nous voulons ajouter 7 à la valeur de a.
a = a + 7 #On ajoute 7 à la valeur de a.
```

Dans le code ci-dessus, l'instruction `a = a + 7` pourrait être remplacée par `a += 7`. Il est très courant d'exprimer l'incrémentation de cette manière. En particulier, sur l'Internet, vous trouverez beaucoup ce type d'instruction. Voici des exemples supplémentaires incluant d'autres opérateurs d'assignement :

```
a = 18

a *= 2 #Cela a le même effet que a = a*2.
#La variable a vaut maintenant 36.

a /= 3 #Cela a le même effet que a = a/3.
#La variable a vaut maintenant 12.

a += 3 #Cela a le même effet que a = a + 3.
#La variable a vaut maintenant 15.

a -= 5 #Cela a le même effet que a = a - 5.
#La variable a vaut maintenant 10.
```

Chapitre 3

Les conditions

L'un des ingrédients qui nous manquent pour pouvoir écrire n'importe quel programme est la capacité de notre code à réagir à son environnement. Supposons qu'Alice indique son âge à l'ordinateur ; comment faire pour afficher un message donné si Alice est mineure, mais un autre message si elle est majeure ?

Une condition s'écrit avec le mot-clé **if**. C'est le premier mot-clé que nous voyons dans ce cours. Un mot-clé ne peut être utilisé comme nom de variable car il a déjà une signification particulière au sein du langage. La syntaxe d'utilisation de `if` est la suivante (ici, nous utilisons `print` pour montrer où doit se trouver le code concerné par la condition) :

```
if condition:
    print("Bonjour")#instruction à exécuter si la condition est vérifiée.
```

Il est également possible de réagir si la condition n'est pas vérifiée. Pour cela, on utilise le mot-clé **else** :

```
if condition:
    print("Bonjour")#instruction à exécuter si la condition est vérifiée.
else:
    print("Ciao")#à exécuter si la condition n'est pas vérifée.
```

Dans tous les exemples ci-dessus on voit que des instructions ont été **indentées**. Les indentations servent à délimiter le code qui est concerné par la condition. Voici un exemple complet que vous pouvez tester :

```
age = int(input("Quel est l'âge d'Alice ?"))
if age < 18:
    print("Alice est mineure.")
else:
    print("Alice est majeure.")
print("Fin du programme.")
```

Si l'indentation des instructions n'est pas respectée, on génère des erreurs d'indentation, voire pire, des incohérences logiques dans le code. Par ailleurs, on remarquera que dans le dernier code, la phrase d'input et la phrase de fin de programme ne sont pas soumises à condition. Elles sont donc exécutées dans **tous les cas** !

On remarquera également qu'il est possible de trouver une condition `if` sans `else`. Dans ce cas, si la condition n'est pas vérifiée, le programme ne fait rien. En revanche, on ne peut pas trouver de `else` sans `if` : le programme ne saurait pas à quelles conditions appliquer le `else`. Un `else` est toujours lié au `if` qui le précède – il est donc impératif de l'indenter au même niveau que le `if` correspondant.

En général, les éditeurs de code permettent d'indenter toutes les lignes sélectionnées grâce à la touche `Tab` ; de même, on peut désindenter les lignes sélectionnées avec `Shift + Tab`.

Enfin, notez que dans ce cours, nous adoptons la pratique d'indenter toute instruction qui suit une ligne se terminant par « : ».

Pour aller plus loin : le retour à la ligne est-il obligatoire ?

Dans certains cas, il est possible (mais pas recommandé) d'indiquer une instruction sur la même ligne qu'une condition. Par exemple, dans le code suivant, le premier message est soumis à condition, tandis que le second message sera toujours affiché :

```
n = int(input("Insérez un nombre"))
if n > 10: print("Vous avez inséré un nombre plus grand que 10")
print("Fin du programme.")
```

3.1 Les opérateurs de comparaison

Dans l'exemple avec Alice au début de ce chapitre, nous avons comparé l'âge d'Alice à un nombre afin de réagir en conséquence. Nous avons utilisé le symbole « < ». Il existe d'autres opérateurs de comparaison :

Symbole	Signification
==	Égal à
!=	Différent de
<	Plus petit que
<=	Plus petit ou égal à
>	Plus grand que
>=	Plus grand ou égal à

Exercice 3.0 - Exercice non programmatique

Quel est l'output du code ci-dessous ? Écrivez en commentaire le résultat attendu, puis testez le code pour vérifier vos réponses.

```
if 12 < 3:
    print("A")
else:
    print("B")
if 12/2 == 6:
    print("C")
```

3.2 Les opérateurs logiques

Supposons maintenant que nous voulions écrire un message à Alice si son âge est supérieur ou égal à 18 ans et que sa taille est supérieure à 150 cm. Ce seraient, par exemple, les conditions à remplir pour monter dans un manège particulièrement dangereux d'un parc d'attractions. Un code possible est :

```
age = int(input("Quel est l'âge d'Alice ?"))
taille = int(input("Quelle est la taille (en cm) d'Alice ?"))
if age >= 18 and taille > 150:
    print("Alice peut monter dans le manège.")
else:
    print("Désolé, Alice ne peut pas monter dans le manège.")
```

Il existe de nombreux opérateurs logiques, mais nous n'en utiliserons que deux dans ce cours : le ET logique et le OU logique.

Il faut noter que l'opérateur ET revient à écrire des conditions **imbriquées**. Un code équivalent au précédent est :

```
age = int(input("Quel est l'âge d'Alice ?"))
taille = int(input("Quelle est la taille (en cm) d'Alice ?"))
if age >= 18:
    if taille > 150:
        print("Alice peut monter dans le manège.")
    else:
        print("Désolé, Alice ne peut pas monter dans le manège.")
else:
    print("Désolé, Alice ne peut pas monter dans le manège.")
```

Exercice 3.1

Écrivez un programme qui demande un nombre à l'utilisateur. Si le nombre entré par l'utilisateur est plus grand que 10 et plus petit que 20, le message suivant doit être affiché : « Votre nombre est situé entre dix et vingt ».

Exercice 3.2

Écrivez un programme qui demande un nombre à l'utilisateur. Si le nombre entré par l'utilisateur est un multiple de 3, le message suivant doit être affiché : « Votre nombre est un multiple de 3 ». Sinon, le message suivant doit être affiché : « Votre nombre n'est pas un multiple de 3 ».

Exercice 3.3 - Exercice non programmatique

Prévoyez l'output du code ci-dessous. Ensuite, testez le code pour vérifier vos réponses.

```
a = 12
b = 6
if a > b and b*2 == a :
    print("A")
else:
    print("B")
if 12/2 == b or b > 20:
    print("C")
else:
    print("D")
```

3.3 Utilisation du `elif`

Il est possible d'utiliser une troisième syntaxe pour exprimer les conditions :

```
if condition1:
    #instruction à exécuter si condition1 est vérifiée.
elif condition2:
    #instruction à exécuter si condition1 n'est pas vérifée et que
    #condition2 est vérifiée
else:
    #instruction à exécuter dans les autres cas
```

Il est à noter qu'on peut enchaîner autant de conditions que l'on veut, bien que l'exemple ci-dessus n'en montre que deux. Attention : le code à l'intérieur du `else` n'est exécuté que dans le cas où aucune des conditions qui le précédent n'est vérifiée. Si l'une de ces conditions est vérifiée, le code dans le `else` ne sera pas exécuté.

Le `elif` est utile dans les cas où l'on énumère des possibilités. Par exemple, si l'on veut dicter un odre de préférence pour une liste de courses, on pourrait obtenir une phrase comme ceci : « Vas faire les courses. S'il y a du jus de pomme, achète-en. Sinon, s'il y a du jus d'orange, achète-en. Sinon, achète de l'eau. » Une telle phrase peut se résumer par deux structures de code différentes :

Première méthode (sans `elif`, mais en imbriquant des conditions) :

```
produit = input("Qu'y a-t-il de disponible parmi les 3 boissons ?")
if produit == "jus de pomme":
    print("On achète du jus de pomme")
else:
    if produit == "jus d'orange":
        print("On achète du jus d'orange")
    else:
        print("On achète de l'eau")
```

Seconde méthode (avec `elif`) :

```
produit = input("Qu'y a-t-il de disponible parmi les 3 boissons ?")
if produit == "jus de pomme":
    print("On achète du jus de pomme")
elif produit == "jus d'orange":
    print("On achète du jus d'orange")
else:
    print("On achète de l'eau")
```

Il est très important de comprendre que ce dernier code n'est pas équivalent à :

```
produit = input("Qu'y a-t-il de disponible parmi les 3 boissons ?")
if produit == "jus de pomme":
    print("On achète du jus de pomme")
if produit == "jus d'orange": #À cause de cela, le else qui suit...
    print("On achète du jus d'orange")
else:                         #...ne s'applique pas au jus de pomme !
    print("On achète de l'eau") #s'affiche si l'input est 'jus de pomme'
```

En résumé :

1. Une suite de conditions commence toujours par un `if`.
2. Une suite de conditions peut se terminer par un `if`, un `elif` ou un `else`.
3. Un `elif` ou un `else` se réfèrent toujours à la condition qui la précède au sein du même niveau hiérarchique.
4. Un `elif` ou un `else` n'est pris que dans le cas où aucune des conditions du même niveau hiérarchique qui précède n'a été prise.

Exercice 3.4 - Signe d'un nombre

Écrivez un programme qui demande à l'utilisateur d'entrer un nombre. Le programme indique ensuite si le nombre est positif, négatif ou nul.

Exercice 3.5 - Distributeur automatique

Dans un distributeur automatique, le chocolat coûte 3 chf, l'eau coûte 1.5 chf et les chips coûtent 5 chf.
Écrivez un programme qui demande à l'utilisateur un nom de produit à acheter. Si le nom du produit est autre chose que « chocolat », « eau » ou « chips », le message « Erreur : nous n'avons pas ce produit » s'affiche. Sinon, le prix du produit s'affiche.
Attention : dans tous les cas, le programme doit se terminer par le message « Merci, aurevoir », même si le produit n'était pas disponible.

Exercice 3.6 - Distributeur automatique avec code secret

Même exercice que le précédent, mais cette fois on demande également un code secret à l'utilisateur. Si le code est le bon (il vaut « xb37vk8 »), alors tous les produits sont à moitié prix.

Exercice 3.7 - Exercice non programmatique

Quel est l'output du code ci-dessous ? Écrivez en commentaire le résultat attendu, puis testez le code pour vérifier vos réponses.

```
a = 1
b = 3
if 3*b == a:
    print("A")
elif 3*b == 8:
    print("B")
elif 2*b == 6:
    print("C")
elif a == 1:
    print("D")
print("Z")
if a == 1:
    print("E")
else:
    print("F")
print("G")
```

3.4 Conditions imbriquées

Il est possible d'imbriquer des conditions les unes dans les autres. Observons le code suivant :

```
age = 18
taille = 150
if age < 18:
    if taille > 150:
        print("Vous pouvez monter accompagné d'un adulte.")
    else:
        print("Vous ne pouvez pas monter dans le manège.")
else:
    print("Vous pouvez monter dans le manège.")
```

Ce code correspond à la situation où, si la personne est majeure, elle peut monter dans le manège ; si elle n'est pas majeure elle ne peut monter dans le manège que si sa taille est supérieure à 150 cm.

Pour aller plus loin : les diagrammes de type « algorigramme »

Pour représenter un **algorithme**, il est parfois plus pratique de le faire sous la forme d'un diagramme. Par exemple, l'effet du code précédent peut s'exprimer comme suit :

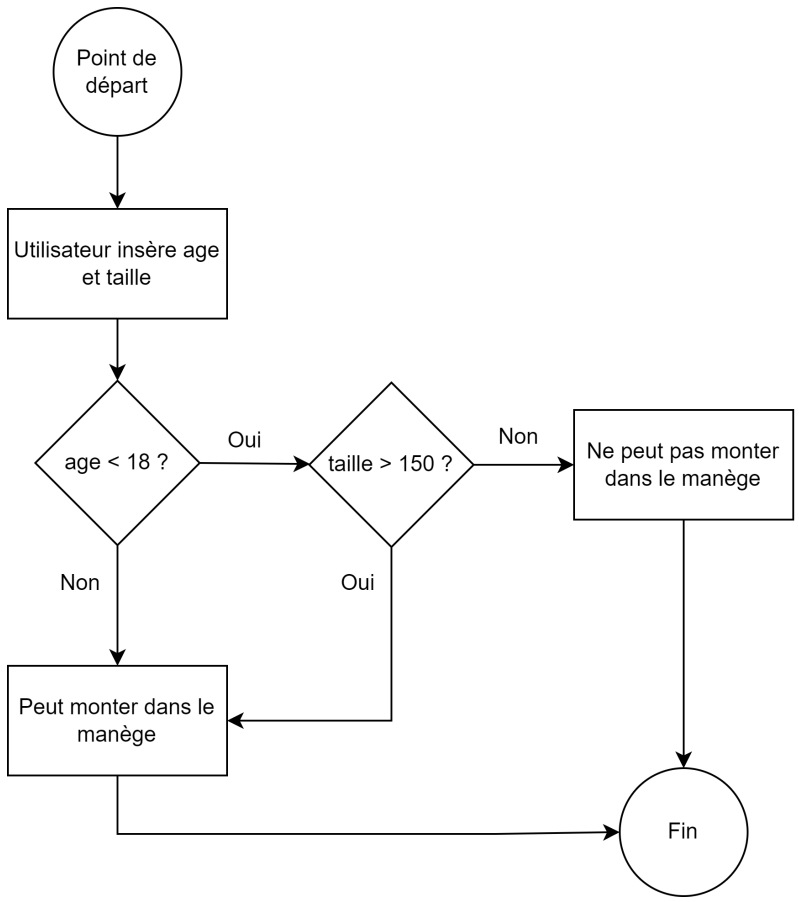


FIGURE 3.1 – Exemple de diagramme résumant un algorithme pour décider si une personne peut entrer dans un manège.

3.4.1 La valeur `None`

Il existe en Python un type spécial nommé `None`. Cette valeur est utilisée pour signifier qu'une variable n'a pas de valeur définie, c'est-à-dire que ce n'est ni un nombre (même pas le nombre zéro), ni quoi que ce soit d'autre.

Prenons l'exemple de la programmation d'un distributeur de boisson. Le prix d'une boisson n'a de sens qu'une fois que la boisson a été choisie. Par exemple, si l'on déclare une variable `prix` mais que l'utilisateur n'a pas encore renseigné de nom de boisson, on peut commencer par assigner la valeur `None` à la variable `prix`. Voici un exemple de code correspondant à cette situation :

```
nom = input("Quelle boisson voulez-vous ?")
prix = None
if nom == "Soda":
    prix = 2.5
elif nom == "Eau":
    prix = 1.0
if prix is None:
```

```
    print("Vous n'avez pas choisi de boisson connue.")
else:
    print(f"Le prix de {nom} est {prix} CHF.")
```

L'importance de la valeur `None` semble peut-être faible pour l'instant, mais elle deviendra claire lorsque nous aborderons des notions plus avancées comme les fonctions. En particulier, elle permet au programmeur de différencier avec clarté les situations où une valeur est non-définie ou manquante, des situations où une valeur est définie à une valeur nulle. Par exemple, `a=0` est un nombre nul et `a=""` est un texte vide, et tous deux peuvent être évalués comme nuls lors des tests de branchement (conditions) ; pour autant, ils ne sont pas mal définis !

Exercice 3.8 - Exercice non programmatique

Quel est l'output du code ci-dessous ? Écrivez en commentaire le résultat attendu, puis testez le code pour vérifier vos réponses.

```
a = 1
b = 3
if 3*a == b:
    print("A")
    if 2*b == 6:
        print("B")
        if b+2 == 4:
            print("C")
        else:
            print("D")
    print("E")
else:
    print("F")
print("G")
```

Exercice 3.9 - Heures de travail

Écrivez un programme qui demande à l'utilisateur d'entrer le jour de la semaine (par exemple `"mardi"`) et une heure de la journée (par exemple `14`). Le programme indique ensuite à l'utilisateur s'il a congé, sachant que l'utilisateur a congé le mercredi à partir de 12h, tout le samedi et tout le dimanche. Les autres jours, il travaille entre 8h et 17h.

Exercice 3.10 - Trio de nombres

Écrivez un programme qui demande à l'utilisateur d'entrer trois nombres. Le programme doit ensuite afficher les trois nombres triés dans l'ordre croissant.

Exercice 3.11 - Formule de Viète automatisée

Écrivez une application qui demande à l'utilisateur d'entrer les valeurs (nombres réels) a, b et c d'une équation du second degré du type $ax^2 + bx + c = 0$. Le programme affiche ensuite la valeur de $\Delta = b^2 - 4ac$ ainsi que la ou les solutions s'il y en a. S'il n'y a pas de solutions, le programme le dit également. Les solutions sont : $x_\pm = \frac{-b \pm \sqrt{\Delta}}{2a}$. Comme précédemment, voici un exemple de racine carrée : le code `x**0.5` permet de calculer $\sqrt{x}$.

Pour aller plus loin : utiliser des variables de type `bool`

Les comparaisons utilisent le résultats d'opérateurs de comparaison tels que « est plus grand que » ou « est égal à ». La réponse à une question du type « 2 est-il plus grand que 3 ? » n'a que deux réponses possibles : oui ou non. Le résultat d'une comparaison est donc un booléen. Voici un exemple où l'utilisation des booléens permet de rendre le code plus lisible :

```
a = 3
b = 10
c = 7
condition1 = a*10 > b
condition2 = b/a > c
condition3 = c*c > b - 4*a
if condition1 and (condition2 or condition3):
    print("A")
#Ci-dessous, un code equivalent, moins lisible :
if a*10 > b and (b/a > c or c*c > b - 4*a):
    print("A")
```

Dans bien d'autres cas que nous ne montrons pas ici, les booléens peuvent être utiles.

Chapitre 4

Les fonctions

Lorsqu'un bout de code est répété plusieurs fois dans un programme, il est préférable de ne pas le réécrire à chaque fois. À la place, utiliser une fonction est souvent plus approprié. Dans l'exemple suivant, les lignes de 2 à 8 sont identiques aux lignes de 11 à 17 :

```
1  majorite = 18
2  age = int(input("Quel est votre âge ?"))
3  if age >= majorite:
4      print("Vous êtes majeur")
5  else:
6      print("Vous serez majeur dans " + (18 - age) + " ans")
7  majorite = 21
8  print("Maintenant, l'âge de la majorité a changé")
9  age = age = int(input("Quel est votre âge ?"))
10 if age >= majorite:
11     print("Vous êtes majeur")
12 else:
13     print("Vous serez majeur dans " + (majorite - age) + " ans")
```

À la place de répéter ces lignes, on peut les « ranger » dans une fonction[1]. Voici comment cela se présente :

```
1  def traiter_age(): #début de la fonction
2      age = int(input("Quel est votre âge ?"))
3      if age >= majorite:
4          print("Vous êtes majeur")
5      else:
6          print("Vous serez majeur dans " + (18 - age) + " ans")
```

1. Dans certains langages, on parle de « procédure » plutôt que de « fonction » si cette dernière ne retourne pas de valeur (voir plus loin). En Python, les deux termes sont la plupart du temps utilisés de façon interchangeable. Par ailleurs, une fonction qui ne « retourne pas » retourne en réalité la valeur `None`.

```
7  majorite = 18
8  traiter_age() #premier appel de la fonction
9  print("Maintenant, l'âge de la majorité a changé")
10 majorite = 21
11 traiter_age() #second appel de la fonction
```

Pour résumer, les fonctions permettent de simplifier la structure du code, ce qui le rend plus lisible et plus facile à modifier. Elles permettent également de réutiliser du code sans avoir à le réécrire plusieurs fois, ce qui réduit les risques d'erreurs.

Il est important de comprendre que le code à l'intérieur d'une fonction n'est pas exécuté tant que la fonction n'est pas **appelée**, même si la fonction est **définie** avant ! Dans l'exemple précédent, la fonction est définie de la ligne 1 à la ligne 6, mais son code est exécuté en ligne 8 une première fois puis en ligne 11 une seconde fois.

Exercice 4.0

Réecrivez le code suivant en créant une fonction pour éviter de répéter certaines instructions.

```
a = 3
x = 0
if a < x:
    print("a est plus petit que x")
elif a > x:
    print("a est plus grand que x")
a = 9
x = 45
if a < x:
    print("a est plus petit que x")
elif a > x:
    print("a est plus grand que x")
a = 2
x = 0
if a < x:
    print("a est plus petit que x")
elif a > x:
    print("a est plus grand que x")
```

4.1 Les arguments d'une fonction

On peut affiner le comportement d'une fonction grâce à des **paramètres**. Prenons l'exemple d'une fonction qui convertit des francs Suisses en Euros et affiche cette valeur. Cette fonction agit sur un nombre (la somme en CHF) : on dit qu'elle **prend** cette somme en entrée ou en argument. Le ou les arguments pris par une fonction sont des valeurs prises

par paramètres indiqués dans les parenthèses au moment de la définition :

```
1 def conversion(somme_CHF): #paramètre somme_CHF
2   taux = 1.2 #taux du jour
3   somme_EUR = somme_CHF / taux
4   print(somme_CHF + " CHF = " + somme_EUR + " €")
5
6 conversion(3) #on passe le nombre 3 en argument
7 conversion(254.5) #on passe le nombre 254.5 en argument
```

Dans l'exemple ci-dessus, le paramètre `somme_CHF` doit être vu comme une variable presque « comme une autre » au sein des lignes 1 à 4 où l'on définit la fonction ; simplement, on travaille avec une valeur abstraite (exactement comme si c'était une variable dont la valeur dépendait d'un input de l'utilisateur) de cette variable. Finalement, cette variable prend ici la valeur 3 lors du premier appel de la fonction et 254.5 lors du second appel. Nul besoin de spécifier la valeur que doit prendre un paramètre tant que la fonction n'est pas effectivement appelée !

Pour passer plusieurs arguments à une fonction, on les sépare à l'aide d'une virgule. Voici une adaptation de l'exemple précédent où le taux de conversion peut être spécifié.

```
1 def conversion(somme_CHF, taux): #prend l'argument somme_CHF
2   somme_EUR = somme_CHF / taux
3   print(somme_CHF + " CHF = " + somme_EUR + " €")
4
5 conversion(3, 1.2) #somme_CHF = 3 et taux = 1.2
6 conversion(3, 1.05) #Cette fois, taux = 1.05
```

Exercice 4.1

Écrivez une fonction bonjour(x) qui prend un nom en argument et affiche « Bonjour, x ! » où x est le nom passé en argument. Par exemple, si on appelle la fonction avec l'argument « Alice », la fonction doit afficher « Bonjour, Alice ! ».

Exercice 4.2

Écrivez une fonction f(x) qui prend un nombre en argument et affiche son carré. Testez-la sur les appels suivants :

```
f(3) #doit afficher 9
f(-2) #doit afficher 4
```

Exercice 4.3

Écrivez une fonction billet_TPG(zone, age). Si l'argument zone vaut 1, le prix est de 4 CHF. Si zone vaut 2, c'est un saut de puce et le prix du billet est de 2 CHF. Si l'age est inférieur à 18 et supérieur ou égal à 8, le prix est divisé par deux. Si l'âge est inférieur à 8, le billet est gratuit. La fonction doit afficher le prix final. Si la zone n'est pas 1 ou 2, ou si l'âge est négatif, un message d'erreur doit être affiché.

```
billet_TPG(1,56) #doit afficher 4 CHF
billet_TPG(1,12) #doit afficher 2 CHF
billet_TPG(1,2) #doit afficher 0 CHF
billet_TPG(2,18) #doit afficher 2 CHF
billet_TPG(2,17) #doit afficher 1 CHF
billet_TPG(3,17) #doit afficher un message d'erreur
billet_TPG(1,-2) #doit afficher un message d'erreur
```

4.2 Portée des variables

Les variables qui sont déclarées à l'intérieur d'une fonction n'existeront pas en-dehors de cette fonction. En revanche, les variables qui sont déclarées en-dehors de toute fonction sont dites « globales » : elles existent « partout » dans le script une fois qu'elles sont déclarées [2].

Cette **portée** des variables (« scope » en anglais) peut être gérée de façon très différente d'un langage à l'autre. Il est extrêmement important d'avoir une idée clair de la portée des variables dans le langage que vous utilisez, car cela peut avoir des conséquences inattendues sur le comportement de votre programme.

Déclarer les variables au niveau aussi local que possible est en général considéré comme une bonne pratique, pour éviter que les variables déclarées dans une fonction, dans une boucle ou dans une condition ne soient confondues avec d'autres variables déclarées ailleurs mais portant le même nom !

Observons le code suivant, où la variable `x` est déclarée à la fois à l'intérieur et à l'extérieur de la fonction `ma_fonction`. Dans ce cas, il s'agit en réalité de deux variables distinctes au sein de la mémoire de l'ordinateur, mais possédant le même alias au sein du code.

```
x = 8 #variable globale
def ma_fonction():
    x = 3 #variable locale
    print(x)
ma_fonction() #affiche 3
```

2. Attention cependant : les variables n'ont pas de portée en-dehors de leur module (cf. chapitre 9.3), bien qu'il soit possible d'importer leur valeur dans d'autres modules

```
print(x) #affiche 8
```

Il est important de noter que les arguments des fonctions sont toujours des variables locales, même si elles portent le même nom qu'une variable globale. Par exemple, le code suivant a le même effet que celui que nous venons de voir :

```
x = 8 #variable globale
def ma_fonction(x):
    print(x)
ma_fonction(3) #affiche 3
print(x) #affiche 8
```

Dès lors, si vous souhaitez modifier une variable globale à l'intérieur d'une fonction, vous devez utiliser le mot-clé `global` pour indiquer à Python que vous ne souhaitez pas créer une nouvelle variable locale, mais bien modifier la variable globale. Voici un exemple :

```
x = 8 #variable globale
def ma_fonction():
    global x
    x = 3 #ici, on modifie bien le x global (il n'y pas de x local)
    print(x)
ma_fonction() #affiche 3
print(x) #affiche 3
```

4.3 Valeur de retour

Jusqu'ici, nous n'avons utilisé des fonctions que pour afficher des valeurs. Une fonction peut également **retourner** une valeur grâce au mot-clé `return`. En voici un exemple d'utilisation :

```
def f(x): #f(x) retourne le cube de x
    return x*x*x
a = f(2)
b = f(3)
c = f(-2)
print(a) #affiche 8
print(b) #affiche 27
print(c) #affiche -8
```

Plusieurs lignes d'une même fonction peuvent retourner une valeur :

```
def mineur_ou_majeur(x):
    if x < 18:
        return "mineur"
    else:
        return "majeur"
a = mineur_ou_majeur(19)
b = mineur_ou_majeur(7)
print(a) #affiche "majeur"
print(b) #affiche "mineur"
```

Une fois que la ligne contenant l'instruction de retour est atteinte, l'exécution de la fonction est stoppée et les lignes suivantes sont ignorées. Par conséquent, la fonction précédente est équivalente à :

```
def mineur_ou_majeur(x):
    if x < 18:
        return "mineur" #on quitte la fonction si on arrive ici
    return "majeur" #ne peut être atteint que si x >= 18
```

Exercice 4.4

Modifiez la fonction `billet_TPG` écrite dans l'exercice plus haut afin qu'elle **retourne** le prix du billet au lieu de l'afficher.

```
prix = billet_TPG(1,56)
print(prix) #doit afficher 4
```

Exercice 4.5

Ecrivez une fonction qui implémente la fonction mathématique $f(x) = 3x - 6$. La fonction doit retourner la valeur de $f(x)$.

```
print(f(2)) #doit afficher 0
print(f(0)) #doit afficher -6
```

Exercice 4.6

Écrivez une fonction qui implémente la fonction mathématique $f(x) = \frac{1}{x}$. Si la valeur de `x` est zéro, un message d'erreur doit être affiché : « x=0 est hors du domaine de définition ! Autrement, la fonction doit retourner la valeur de $f(x)$. »

4.4 Affichage *versus* retour de valeur

Il est capital de distinguer ce que la fonction « fait » de ce qu'elle retourne. Une difficulté conceptuelle courante est illustrée par l'exemple suivant :

```
1  #Essayez de deviner ce que ce code affiche dans la console :
2  def f(x):
3      print(x*x)
4
5  def g(x):
6      return x*x
7
8  a = f(3)
9  b = g(4)
10 print(a)
11 print(b)
```

Il est primordial de comprendre que la fonction `f` ne fait qu'afficher la valeur de x^2, mais ne retourne rien (c'est-à-dire retourne `None`). En revanche, la fonction `g` retourne la valeur de x^2 sans l'afficher. Ainsi, l'effet de la ligne 8 est d'afficher le texte 3 dans la console puis d'assigner la valeur `None` à la variable `a`. En ligne 9, la variable `b` prend la valeur 16 mais rien n'est affiché. En ligne 10, la valeur de `a` (soit `None`) est affichée, puis en ligne 11, la valeur de `b` (soit 16) est affichée.

Il est maintenant clair qu'une fonction qui affiche une valeur n'est pas la même chose qu'une fonction qui retourne cette valeur.

4.5 Fonctions récursives

Une fonction peut tout à fait s'appeler elle-même. On parle alors de fonction « récursive ». Voici un exemple simple de fonction récursive qui calcule la somme des entiers de 1 à n :

```
def somme(n):
    if n == 1:
        return 1
    return n + somme(n-1)
print(somme(4)) #affiche 10
```

La fonction `somme` est définie de façon récursive : elle s'appelle elle-même avec un argument potentiellement différent à chaque fois. La condition `if n == 1` est nécessaire pour éviter que la fonction ne s'appelle elle-même indéfiniment. On nomme cela le **cas de base** de la récursion. Lorsqu'on écrit une fonction résurcive, il faut toujours s'assurer qu'il existe au moins un cas de base qui permet de sortir de la récursion. Si on oublie cette condition, la fonction ne s'arrêtera jamais et la pile d'appels de fonctions finira par être pleine, ce qui

provoquera une erreur. Vous pouvez tester cela en supprimant les lignes représentant le cas de base au sein de l'exemple précédent.

Comme on le verra dans la partie du cours dévolue à l'algorithmique, de nombreux algorithmes et structures utiles pour résoudre des problèmes peuvent être implémentés naturellement de façon récursive.

Exercice 4.7

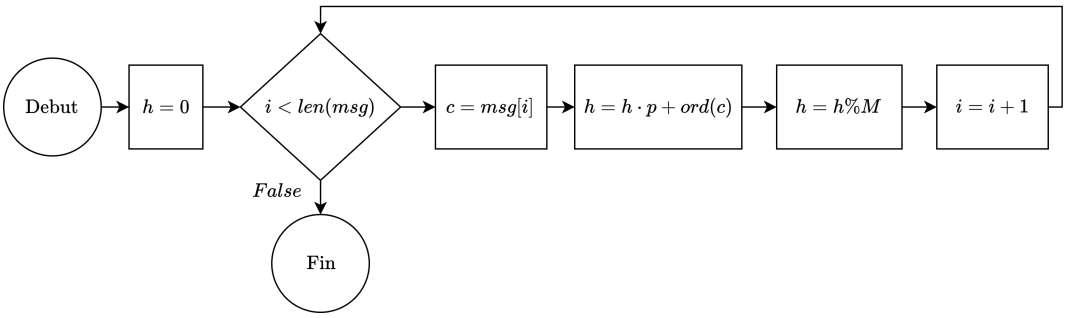
En mathématiques, la fonction factorielle est une fonction $f(x)$ qui retourne la multiplication de tous les entiers de 1 jusqu'à x. Par exemple, $f(4) = 4 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1 = 24$. À l'aide d'une fonction qui s'appelle elle-même, implémentez la fonction factorielle (sans utiliser de boucle while ni de boucle for !).

Exercice 4.8 – Mots de passe possibles

À l'aide d'une fonction qui s'appelle elle-même (fonction récursive), générez toutes les possibilités de mots de passe de longueur n composés des 26 lettres minuscules de l'alphabet latin en écrivant **une seule boucle for**. La fonction doit prendre un argument n qui correspond à la longueur des mots à générer. Par exemple, si $n = 2$, la fonction doit afficher `aa, ab, ac, ..., az, ba, bb, bc, ..., zz`.
Vous devez utiliser une variable **globale** nommée `ALPHABET` afin de stocker les lettres possibles.
Nous verrons plus loin comment utiliser cette méthode pour tester des mots de passe cryptés.

Exercice 4.9 – Fonction de hachage

Une fonction de hachage est une fonction qui prend une entrée (ou « message ») et retourne une valeur de taille fixe. En cryptologie, on utilise souvent des fonctions de hachage pour stocker des mots de passe de façon sécurisée. En général, la fonction de hachage utilisée dans ce cas est facile à utiliser dans un sens, mais très difficile à inverser. Par exemple, le mot de passe « abc » peut être haché en « 37482 », mais à partir du hash « 37482 », il est très difficile de retrouver le mot de passe « abc ». C'est comme cela que vous pouvez montrer à un site que vous détenez le mot de passe associé à votre compte sans même que le site ait besoin de connaître ce dernier ! En réalité, il est possible qu'une fonction de hachage retourne le même hash pour deux mots de passe différents, mais cela est extrêmement rare sur les fonctions de hachage utilisées en pratique.
On peut imaginer une fonction de hachage « jouet » difficile à inverser. Supposons que p soit un nombre premier et M la « taille » des valeurs de hachage à générer. On peut alors définir une fonction de hachage $h(msg)$ comme sur l'algorigramme suivant :



À la fin de l'algorithme, la variable `h` contient la valeur de hachage de l'entrée `msg`. La fonction modulo `%` retourne le reste de la division entière de son premier argument par son second argument. La fonction `ord` retourne le code ASCII (nombre associé) d'un caractère de l'alphabet.
Écrivez une fonction `toy_hash(msg)` qui implémente cette fonction de hachage. Lorsqu'appliquée au message « tcho » avec $p = 31$ et $M = 2^{32}$, la fonction doit retourner « 3554230 ».

Exercice 4.10 – Attaque bruteforce

La police criminelle a pu déterminer que le hash d'un mot de passe cryptant d'importantes données est 610359782.
Pour obtenir le hash d'un mot de passe, on utilisera la fonction `toy_hash` définie dans l'exercice précédent, avec $p = 180811$ et $M = 2^{32}$.
Écrivez une fonction récursive `bruteforce` qui teste tous les mots de passe possibles d'une longueur inférieure ou égale à une valeur n afin de déterminer lequel correspond au hash 610359782. On suppose que le mot de passe est composé uniquement des 26 lettres minuscules de l'alphabet latin de base, possiblement avec répétitions. Inspirez-vous de l'exercice « Mots de passe possibles » pour écrire cette fonction.

Chapitre 5

Les boucles

Le dernier ingrédient qui nous manque pour écrire n'importe quel programme est la capacité à **répéter** des instructions automatiquement.

Prenons l'exemple suivant : l'utilisateur est invité à entrer un nombre. S'il entre le nombre à deviner (décidons que ce nombre vaut 66, par exemple), alors le programme est terminé. Tant que l'utilisateur n'entre pas le nombre à deviner, il peut continuer à entrer un nombre.

Écrire un tel programme en utilisant uniquement les outils que nous avons vus jusqu'à maintenant est impossible : on ne connaît pas à l'avance le nombre que l'utilisateur va entrer, on ne sait donc pas combien d'instructions il faut écrire (ce nombre est potentiellement infini). Un tel programme correspondrait au diagramme suivant :

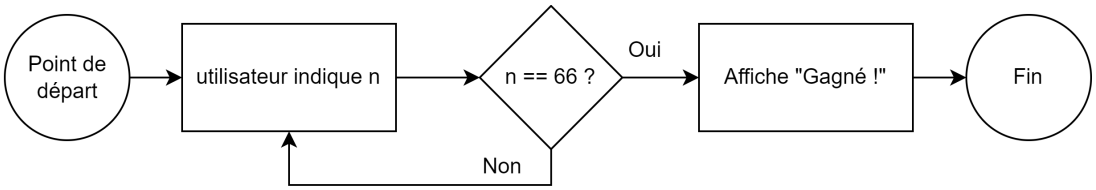


FIGURE 5.1 – Diagramme correspondant au jeu du nombre à deviner, où le nombre à deviner est 66. La branche « non » du test `n==66` effectue une boucle vers un point précédent du programme.

La solution à ce problème réside dans l'utilisation des **boucles**. Nous allons voir deux types de boucles : les boucles **while** et les boucles **for**. Les boucles et les conditions (voir chapitre prédécent) constituent ce que l'on appelle des **structures de contrôle**. En l'occurence, il s'agit d'une **structure de branchement**.

5.1 Les boucles `while`

5.1.1 Structure de base

Le mot-clé `while` permet d'indiquer à l'ordinateur qu'il faut répéter certaines instructions **tant que** certaines conditions sont remplies. Voici une façon de résoudre, à l'aide d'une telle boucle, le problème donné en introduction de ce chapitre (jeu du nombre à deviner) :

```
1 n = int(input("Entrez un nombre."))
2 while n != 66:
3     n = int(input("Essayez encore..."))
4 print("Gagné !")
```

Dans le code précédent, la condition de la boucle est que la variable `n` soit différente de 66. Tant que cette condition est vraie, le code à l'intérieur de la boucle est exécuté. La ligne 5 (message au vainqueur) ne peut donc être affichée que si `n` vaut 66.

Exercice 5.0

Créez un programme qui affiche tous les nombres de 1 à 100 en utilisant une boucle `while`.

Exercice 5.1

Créez une application qui affiche tous les nombres de a à b en utilisant une boucle `while`. Les nombres a et b sont entrés par l'utilisateur via un `input` au début de l'application.

Exercice 5.2

Créez le programme suivant : on demande à l'utilisateur d'entrer un nombre, puis on affiche tous les multiples de trois jusqu'à ce nombre. Par exemple, si l'utilisateur entre « 37 », alors le programme doit afficher « 3 », puis « 6 », puis « 9 » et ainsi de suite jusqu'à « 36 ».

5.1.2 Les boucles « infinies »

Il est très courant de devoir écrire une boucle qui peut, potentiellement, être exécutée une infinité de fois, à l'image de la boucle du code précédent (jeu du deviner le nombre). Le menu d'un jeu vidéo, par exemple, est une boucle infinie : tant que l'utilisateur ne décide pas de quitter le menu, le jeu continue. En règle générale, il vaut mieux écrire directement dans la condition du `while` le test qui détermine si la boucle doit être poursuivie ou pas. Cependant, dans certaines conditions, on peut demander à quitter la boucle grâce

au mot-clé `break`. Voici un exemple qui implémente le jeu du nombre à deviner à l'aide d'une boucle infinie.

```
while True: #cette condition sera toujours vraie !
    n = int(input("Entrez un nombre."))
    if n == 66: #si l'utilisateur a entré 66...
        break #on quitte la boucle !
print("Gagné !")
```

Exercice 5.3 – Trouver le mot

Créez une fonction `trouve(m)` qui prend en paramètre un mot `m` et qui demande à l'utilisateur de deviner le mot. Tant que l'utilisateur n'a pas deviné le mot, le programme continue de demander à l'utilisateur d'entrer un mot. Lorsque l'utilisateur a deviné le mot, le programme affiche « Bravo ! » et s'arrête.

Exercice 5.4 — Calculatrice

Créez une application de calculatrice qui permet de faire des multiplications. Tant que l'utilisateur n'entre pas le mot « stop », l'application reste ouverte et l'utilisateur peut entrer deux nombres dont on affiche le produit à l'écran.

5.2 Les boucles `for`

Le mot-clé **for** permet d'écrire un type de boucle différent des boucles `while`. En Python, les boucles `for` sont particulièrement utiles pour parcourir des éléments dits « itérables » tels que les listes, que nous verrons dans le prochain chapitre. Cependant, afin de respecter la progression fixée par le plan d'études, nous traitons les boucles for avant de traiter des listes ; nous invitons le lecteur intéressé à lire ce chapitre et celui des listes comme un tout.

5.2.1 Structure de base

Une boucle `for` dépend de la valeur d'une **variable de boucle**. Voici un premier exemple de boucle `for`, où l'on choisit de nommer « i » la variable de boucle, et où l'on décide de répéter 10 fois une même instruction. Attention : `i` étant une variable, vous pouvez lui donner le nom que vous voulez et pas nécessairement « i ».

```
1 for i in range(10):
2     print("Tour de boucle numéro", i)
```

Si l'on teste le code précédent, on s'aperçoit qu'il écrit dans la console « Tour de boucle numéro 0 », puis « Tour de boucle numéro 1 » et ainsi de suite jusqu'à « Tour de boucle

numéro 9 ». Cela fait donc 10 répétitions d'une même instruction. La ligne `for i in range(10):` peut se comprendre comme « répéter les instructions tant que i est plus petit que 10, en commençant avec i=0, et en faisant `i=i+1` à chaque nouveau tour de boucle ».

Le mot-clé `break`, précédemment discuté pour les boucles `while`, peut également être utilisé dans les boucles `for` pour en sortir prématurément.

Exercice 5.5

Écrivez une boucle for qui affiche tous les nombres de 0 à 99. Pour cet exercice, la variable de boucle doit être nommée « k ».

Exercice 5.6

Écrivez une boucle for qui affiche un nombre sur deux de 0 à 98, en commençant par 0.

Exercice 5.7

Écrivez une boucle for qui affiche tous les multiples de 6 jusqu'à 120.

Exercice 5.8

Écrivez une fonction nommée `multiples(x)` qui utilise une boucle for et qui affiche tous les multiples de x jusqu'à 100.

5.2.2 La fonction `range`

En Python, les boucles `for` sont significativement différentes des boucles `for` que l'on trouve dans d'autres langages de programmation tel que C. En Python, une boucle `for` est souvent utilisée pour parcourir des éléments dits « itérables » tels qu'une liste ou un texte, bien qu'on puisse également l'utiliser pour répéter un certain nombre de fois une instruction, en ignorant simplement les valeurs itérées.

Dans des langages tels que le C, une boucle possède une valeur de départ associée à une variable, une condition de fin, et une manière de modifier la variable de boucle à chaque tour. En Python, la fonction `range` permet de simuler ce comportement (mais ce n'est pas sa seule utilité). La fonction `range` est une fonction qui génère un itérable sur des nombres entiers. Par exemple, `list(range(10))` génère la liste `[0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9]`. Nous détaillons au sein du chapitre 4 ce qu'est une fonction, et nous contentons ici de l'utiliser.

Il se trouve que la fonction `range` peut également être utilisée des trois façons suivantes, en utilisant un, deux ou trois **arguments** :

```
list(range(10)) # [0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9]
list(range(5, 10)) # [5, 6, 7, 8, 9]
list(range(3, 10, 2)) # [3, 5, 7, 9]
```

Exercice 5.9

Créez une application qui affiche tous les nombres de a à b en utilisant une boucle `for`. Les nombres a et b sont entrés par l'utilisateur via un `input` au début de l'application.

Exercice 5.10

À l'aide d'une boucle for, vérifiez si un nombre entier entre 0 et 10'000 est la solution de l'équation $3 \cdot x + 2 = 35$. Affichez ce nombre s'il est trouvé.

Exercice 5.11

À l'aide d'une boucle for, vérifiez si un nombre entier entre -100'000 et 100'000 est la solution de l'équation $5 \cdot x + 269900 = 355$. Affichez ce nombre s'il est trouvé.

Exercice 5.12 — Niveau 2

À l'aide d'une boucle for, vérifiez cherchez le nombre entier entre -100'000 et 100'000 qui est le plus proche de résoudre l'équation $17 \cdot x + 1000 = 3$. Affichez ce nombre s'il est trouvé.

Exercice 5.13 — Niveau 2

À l'aide d'une boucle for, trouvez la somme de tous les nombres entiers entre 1 et N compris, où N est spécifié par l'utilisateur.

Exercice 5.14 — Niveau 2

À l'aide d'une boucle for, trouvez le produit de tous les nombres entiers entre 1 et N compris, où N est spécifié par l'utilisateur.

Exercice 5.15 — Niveau 2

À l'aide d'une boucle for ou while, trouvez le plus grand diviseur commun entre deux nombres spécifiés par l'utilisateur.

Exercice 5.16 — Niveau 2

À l'aide d'une boucle for ou while, affichez dans la console le barème complet pour une épreuve comptant N points (N est donné par l'utilisateur). La note n à une épreuve est calculée comme suit :

$$n = \frac{x}{N} \cdot 5 + 1,$$

où x est le nombre de points obtenus.

Exercice 5.17 — Niveau 2

Un paquet de pâtes coûte 4 CHF, un pack d'oeufs coût 3 CHF et une brique de lait coûte 3,50 CHF. Sachant que l'on est revenu des courses avec une facture de 32.5 CHF et que l'on a acheté uniquement les produits décrits ci-dessus, trouver toutes les possibilités d'achats auxquelles cette facture correspond. Ecrivez un programme utilisant plusieurs boucles imbriquées.

Exercice 5.18 — Niveau 2

Écrivez un code qui affiche un "carré" d'étoiles à l'écran. Le nombre d'étoiles sur un côté du carré est spécifié par l'utilisateur. Exemple de résultat avec un carré de 3 étoiles de côté :

```
***
***
***
```

Exercice 5.19 — Niveau 2

Écrivez un code qui affiche un "sapin" d'étoiles à l'écran. La largeur de la base du sapin est spécifiée par l'utilisateur et doit toujours être impaire (écrire un message d'erreur si ce n'est pas le cas). Exemple de résultat avec une base de 7 étoiles.

```
   *
  ***
 *****
*******
```

Exercice 5.20 — Niveau 2

À l'aide d'une boucle, construisez une seule chaîne de caractères qui contient toute la table de multiplication de 6 jusqu'à 60. Affichez ensuite la table avec un seul message de type print (la table entière doit s'afficher d'un seul coup à l'écran).

Exercice 5.21 — Niveau 2

À l'aide de deux boucles for imbriquées l'une dans l'autre, créez un programme qui affiche tous les nombres premiers jusqu'à 1000.

Exercice 5.22 – difficile

Écrivez une fonction `tronque_serie(n, p)` qui retourne la somme :

$$\sum_{x=1}^{n} \frac{1}{x^p} \tag{5.1}$$

Exercice 5.23 – difficile

Écrivez une fonction `tronque_serie2(n, b)` qui retourne la somme :

$$\sum_{x=1}^{n} \frac{1}{b^x} \tag{5.2}$$

Exercice 5.24 – difficile

Écrivez une fonction $est\_premier(x)$ qui retourne le booléen `True` si x est un nombre premier, et qui retourne `False` sinon. Utilisez la méthode de votre choix pour déterminer si un nombre est premier.

Exercice 5.25 – difficile

En réutilisant la fonction de l'exercice précédent, écrivez une fonction nommée $nb\_premiers(a, b)$ qui retourne une liste contenant tous les nombres premiers compris entre a et b.

5.3 Exercices supplémentaires avec le module turtle

Exercice 5.26

Essayez de prévoir ce que va produire le code suivant, puis testez-le :

```
for i in range(30):
    forward(4*i)
    right(90)
```

Exercice 5.27

Modifiez le code de l'exercice précédent pour que la spirale fasse davantage de tours.

Exercice 5.28

Modifiez le code de l'exercice précédent pour que la spirale soit moins anguleuse, quasi-circulaire.

Exercice 5.29

Essayez puis modifiez le code suivant pour obtenir d'autres figures :

```
import math
for i in range(1000):
    forward(4)
    right(math.sin(3*i/26)*3 + 7)
```

Exercice 5.30

Voici un code contenant une double boucle. Essayez de deviner le motif qu'il produit avant de le tester !

```
for i in range(4):
    for j in range(4):
            forward(20)
            left(90)
    forward(100)
    left(90)
```

5.4 Exercices turtle à propos des couleurs et des boucles

Prérequis : avoir suivi la partie du cours sur le codage des couleurs au format RGB. Pour tous ces exercices, utilisez une épaisseur de pinceau de 5 pixels.

Voici le code à ajouter en préambule de vos exercices :

```
from turtle import *
colormode(255) #previent turtle qu'on utilise le format RGB
pensize(5) #épaisseur de 5 pixels
```

Exercice 5.31

Créez une droite de couleur vert pur en utilisant le format RGB. Instruction pour changer la couleur de la tortue : `pencolor(r,g,b)` (remplacez r, g, et b par les valeurs de rouge, de vert et de bleu).

Exercice 5.32

Créez une droite de couleur vert pomme. Au format RGB le vert pomme est : `(52,201,36)`.

Exercice 5.33

a) Créez un dégradé de couleur rectiligne, du noir au vert pur.
b) Même chose, mais on revient au noir dès que le niveau maximum de vert est dépassé, autant de fois que nécessaire.

Exercice 5.34

Créez un dégradé de couleur rectiligne, du bleu pur au vert pur.

Exercice 5.35

Créez un dégradé de couleur rectiligne, du jaune pur au bleu pur.

Exercice 5.36

Créez un dégradé de couleur rectiligne du noir au vert pur, de longueur exacte de 100 pixels.

Exercice 5.37

Créez une spirale dégradée du noir au vert pur. Pour rappel, voici le code générant une spirale :

```
for i in range(256):
    forward(0.1*i)
    right(5)
```

Exercice 5.38

Créez une spirale dégradée du noir au vert pur contenant 40 tours. À chaque fois que le vert pur est atteint, revenez au noir.

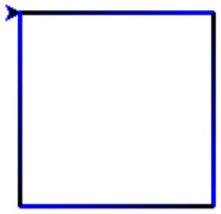
Exercice 5.39

Créez un code qui permet facilement de créer une série de dégradés le long d'une ligne, comme illustré ci-dessous. Le code ne devrait pas faire plus de 20 lignes (une dizaine suffit en réalité).

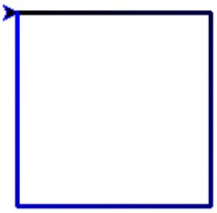
Exercice 5.40

Générez les figures suivantes (votre code ne doit pas faire plus de 10 lignes par figure).

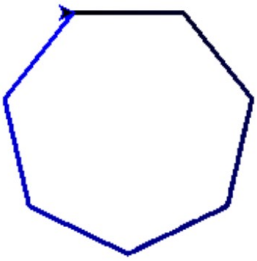
a)



b)



c)



Exercice 5.41

Écrivez un code qui demande une valeur de rouge, une valeur de vert et une valeur de bleu à l'utilisateur. Ces valeurs sont entrées en pourcentage ! Convertissez-les en RGB 255 pour afficher un carré avec la couleur demandée. Vérifiez également que les valeurs sont entre 0 et 100 (sinon, affichez un message d'erreur). Exemple : `(50%, 100%, 50%)` $\Rightarrow$ `(127,255,127)`.

Exercice 5.42

Écrivez un code qui demande un pourcentage entre 0 et 100 à l'utilisateur, puis affichez un carré dont le niveau de gris correspond (0 signifie "blanc" et 100 signifie "noir").

Chapitre 6

Les listes

Lorsque l'on veut créer une application où un traitement est effectué automatiquement et de façon répétitive sur un grand nombre de données, il est très pratique de pouvoir stocker ces données au sein d'une seule et même variable. En Python, une telle variable est une liste [1].

De fait, les listes sont un outil extrêmement utilisé lorsqu'on programme en Python. Dans beaucoup de cas, elles permettent de rendre le code plus court et plus simple à comprendre.

6.1 Déclarer une liste et accéder à ses éléments

Imaginons une application qui permette à l'utilisateur de noter une liste de ses prénoms préférés. Par exemple :

```
prenoms = ["Alice", "Albert", "Zoe", "Coralie"]
```

Les crochets sont utilisés pour indiquer à Python que les différentes variables (ici ce sont des strings, mais cela pourrait être n'importe quel autre type de variable !) sont stockées dans une liste.

Pour **accéder** aux éléments d'une liste, on utilise les crochets également. Par exemple, pour afficher le prénom préféré numéro 2, on écrit :

```
print(prenoms[2]) #cela affiche "Zoe" !
```

Attention, le tout premier élément d'une liste est **zéro**. La case numéro 2 désigne donc le 3ème élément. En informatique, il est très courant que les listes (ou tableaux) commencent avec l'indice numéro zéro. Une conséquence de cela est qu'au sein d'une liste contenant N éléments, les éléments sont numérotés de 0 à $N-1$.

1. En réalité il existe bien d'autres structures de données utilisables selon le contexte, mais la liste est la plus simple d'entre elles.

Exercice 6.0

Créez une liste de strings contenant cinq éléments. Chaque élément doit être un nom de pays. Affichez ensuite la liste entière à l'écran, sans utiliser de boucle.

Exercice 6.1

Demandez un nom de pays à l'utilisateur, puis remplacez l'élément numéro 3 de la liste précédente par ce nom. Enfin, affichez la liste entière à l'écran.

Exercice 6.2

Créez une liste contenant le nom des 7 jours de la semaine sous forme de strings. Ensuite, demandez à l'utilisateur d'entrer un nombre entier. Le programme affiche alors le nom du jour correspondant à ce nombre (avec la convention que 0 = lundi, 1 = mardi, etc). Utilisez une boucle `for` pour résoudre le problème.

6.2 Parcourir une liste

Voici un code qui déclare une liste contenant les cinq premiers jours de la semaine puis les affiche un à un.

```
1 jours = ["lundi", "mardi", "mercredi", "jeudi", "vendredi"]
2 for i in range(5): #boucle pour parcourir la liste
3     print(jours[i])
```

En ligne numéro 2 du code ci-dessus, on a utilisé l'instruction `for i in range(5)` parce qu'il y a 5 éléments dans la liste. Dans la suite de ce cours, nous obtiendrons automatiquement la longueur de la liste grâce à l'instruction `len(ma_liste)`. Grâce à cela, on n'a pas besoin de compter le nombre d'éléments dans la liste à chaque fois que l'on veut parcourir ses éléments.

Dans l'exemple précédent, la boucle `for` a été utilisée pour générer les indices des éléments. Il est important de comprendre que le code précédent est équivalent à celui-ci :

```
1 jours = ["lundi", "mardi", "mercredi", "jeudi", "vendredi"]
2 i = 0
3 while i < 5: #boucle pour parcourir la liste
4     print(jours[i])
5     i = i + 1
```

Pour savoir si un élément donné figure au sein d'une liste, on peut utiliser le mot-clé `in`. Par exemple, le code suivant affiche « oui » si le prénom « Alice » figure dans la liste `prenoms`, et « non » sinon.

```
prenoms = ["Alice", "Bob", "Charles", "Diana", "Earl"]
if "Alice" in prenoms:
    print("oui")
else:
    print("non")
```

Par ailleurs, on peut obtenir l'indice auquel un élément se situe grâce à la méthode `index`. Par exemple :

```
prenoms = ["Alice", "Bob", "Charles", "Diana", "Earl"]
i = prenoms.index("Charles")
print(i) #affiche 2 car "Charles" est le 3ème élément de la liste
```

Cependant, il est important d'être capable de coder la fonction `index` ou la fonctionnalité `in` soi-même, avant de les utiliser pour gagner du temps.

Exercice 6.3

Créez une liste de strings contenant les sept jours de la semaine. Ensuite, grâce à une boucle, affichez un élément sur deux du contenu de cette liste.

Exercice 6.4

Créez une liste de strings contenant les sept jours de la semaine. L'utilisateur peut ensuite écrire le nom d'un jour, et le programme lui indique le numéro de ce jour dans la semaine. Attention, le code ne doit pas contenir plus d'une condition (if/else) !

Exercice 6.5

Dans le code d'un jeu-vidéo, on écrit le nom des joueurs dans une liste. On écrit également leur meilleur score dans une autre liste, de la façon suivante :

```
players = ["Alice", "Bob", "Charles", "Diana", "Earl"]
scores = [34, 21.5, 45, 344, 2]
```

Écrivez un code pour afficher le nom de chaque joueur suivi de son score. Le résultat doit ressembler à :
`Alice : 34`
`Bob : 21.5`
et ainsi de suite.

Exercice 6.6

Dans un hôpital, on a enregistré les noms des patients dans une liste, et le numéro de leur chambre dans une autre liste. Voici les données en question :

```
patients = ["Alice", "Bob", "Charles", "Diana", "Earl"]
chambres = [3, 2, 4, 2, 5]
```

Écrivez un code qui indique le numéro de la chambre dans laquelle se trouve un patient x. Si le patient n'est pas dans la liste, le programme doit afficher « Patient non trouvé ». C'est l'utilisateur qui indique le nom x du patient à chercher.

Exercice 6.7

On a inséré les données d'un mini réseau social dans le code suivant :

```
noms = ["Alice", "Bob", "Charles", "Diana", "Earl", "Fab", "Guy"]
ages = [18, 19, 19, 17, 19, 16, 21]
```

Écrivez un code pour afficher l'âge moyen des utilisateurs, ainsi que le nombre d'utilisateurs majeurs. Ce code doit pouvoir fonctionner si l'on modifie les utilisateurs (par exemple, si on en ajoute ou si on en enlève).

Exercice 6.8 — Difficile

À l'aide de deux boucles for imbriquées l'une dans l'autre, créez un programme qui affiche tous les couples de lettres possible, avec « A »,« B »,« C »,« D » comme lettres possibles. La réponse sera : AA, AB, AC, AD, BA, etc. Essayez ensuite d'écrire le même code sans utiliser de liste. Qu'observez-vous ?

6.3 Manipuler une liste

Pour **ajouter** un élément à la fin d'une liste on utilise l'instruction `append`, comme dans l'exemple ci-dessous :

```
ma_liste = [3,7,1,5]
ma_liste.append(4)
print(ma_liste) #affiche [3,7,1,5,4]
```

À l'inverse, pour **enlever** le dernier élément, on utilise l'instruction `pop`, comme dans l'exemple ci-dessous :

```
ma_liste = [3,7,1,5]
ma_liste.pop()
print(ma_liste) #affiche [3,7,1]
```

Exercice 6.9

Créez une fonction nommée `multiples(x,n)` qui retourne une liste contenant les multiples de x jusqu'à n. Par exemple, si l'utilisateur entre 3 et 20, la fonction doit retourner la liste [3, 6, 9, 12, 15, 18].

Exercice 6.10

Créez une liste vide et demandez à l'utilisateur d'y ajouter autant de nombres qu'il le souhaite (un par un). Lorsque l'utilisateur écrit « stop », la liste de nombres est affichée et le programme s'arrête.

Exercice 6.11 — Difficile

Reprenez l'exercice précédent. Une fois que l'utilisateur a fini d'écrire tous les nombres, détectez le plus petit et le plus grand élément de toute la liste, et affichez-les à l'écran.

Exercice 6.12

Écrivez une fonction $multiples3(a, b)$ qui retourne une liste contenant tous les multiples de 3 compris entre a et b.

Exercice 6.13 — Difficile

Créez un système de création de compte pour un site web imaginaire. Pour cela, créez trois listes vides de la façon suivante :

```
prenoms = []
noms = []
ages = []
```

Lorsqu'un utilisateur écrit « *nouveau compte* », alors il peut entrer son prénom, son nom et son âge, qui seront stockés dans les listes appropriées. Ensuite, le programme lui indique son numéro de compte (ici, ce sera simplement la longueur de la liste à ce moment-là). Lorsque l'utilisateur écrit « *supprimer compte* », alors le dernier compte a avoir été inscrit est supprimé.

Exercice 6.14 Logiciel de comptabilité — Difficile

Écrivez un logiciel (simpliste) de comptabilité pour un magasin, dont voici les contraintes :

1. L'utilisateur peut écrire "achat", "vente" ou "stop".
2. Si l'utilisateur écrit "achat" ou "vente", alors il doit ensuite indiquer le nom de l'objet acheté puis son prix (chacun via un input différent). Attention, on ne peut pas vendre un objet si l'objet ne fait pas partie de la liste des objets achetés ! En revanche, on peut acheter n'importe quel objet. Vous êtes libres de décider du prix et du nom des différents objets.
3. Tant que l'utilisateur n'écrit pas "stop", les étapes 1 et 2 sont répétées à l'infini.
4. Si l'utilisateur écrit "stop", le programme s'arrête et on affiche :
   (a) Le chiffre d'affaires du jour (c'est-à-dire la somme de toutes les ventes)
   (b) Les dépenses du jour (c'est-à-dire la somme de toutes les achats)
   (c) Le bénéfice du jour (c'est-à-dire le chiffre d'affaires moins les dépenses)
   (d) Le nom de tous les objets vendus

Pour aller plus loin : Les listes de listes

Pour représenter des tableaux en plusieurs dimensions, on peut utiliser des listes de listes. Par exemple, au sein d'un jeu-vidéo on pourrait coder une carte en 2D faite de cases grâce à une liste de listes. Les murs peuvent être représentés par le nombre 1 et le vide par le nombre 0. Ainsi, une pièce carrée entourée de murs seraient codée comme :

```
carte = [[1,1,1,1],
         [1,0,0,1],
         [1,0,0,1]
         [1,1,1,1]]
```

Pour obtenir la valeur de la case en coordonée (2 ;3), on écrirait alors `carte[3][2]` (deuxième ligne, troisième colonne).

6.4 Itération sur les éléments d'une liste

Jusqu'ici, nous avons parcouru les listes grâce à des boucles (for ou while) qui permettaient d'incrémenter un indice (souvent nommé `i`). Cet indice était à son tour utilisé pour accéder à l'élément numéro `i` de la liste. Bien que cette méthode fonctionne très bien, il peut être pratique d'itérer directement sur les éléments de la liste, comme dans l'exemple ci-dessous, où l'on se passe de tout indice !

```
ma_liste = [233, 34, 6, 23.4, 45, 65]
for nombre in ma_liste:
    print(nombre)
```

6.5 Mutabilité et immutabilité

Un type immutable (aussi nommé immuable en français) est un type de donnée dont la valeur ne peut pas être modifiée après sa création, à l'inverse d'un type mutable. Il se trouve que la liste est le premier type mutable que nous rencontrons dans ce cours.

En Python, les listes sont des objets très fréquemment utilisés. Cependant, certaines propriétés des listes ne sont pas toujours désirables. En particulier, il est parfois souhaitable d'avoir la garantie qu'une liste ne peut changer. Prenons l'exemple suivant :

```
1 def truc(a):
2     a.append(0)
3     print(a)
4
5 ma_liste = [3, 4, 5]
6 truc(ma_liste) #affiche [3, 4, 5, 0] (correct)
7 print(ma_liste) #affiche [3, 4, 5, 0] (potentiellement surprenant)
```

Dans le code qui précède, la fonction `truc` modifie véritablement la liste qui lui est passée en argument. Cela peut être surprenant si l'on a jusqu'ici uniquement utilisé des types immutables. En effet, le code suivant, lui, ne produit rien de surprenant :

```
1 def ajoute_1_et_affiche(x):
2     x = x + 1
3     print(x)
4 a = 5
5 ajoute_1_et_affiche(a) #affiche 6 (correct)
6 print(a) #affiche 5 (correct)
```

Où est la différence fondamentale entre les deux exemples ? La réponse est que les variables de types immutables (comme int, float ou str) sont en fait **copiées** lorsqu'elles sont passées en argument à une fonction, tandis que les variables de types mutables (comme les listes) sont passées par **référence**, c'est-à-dire que c'est véritablement la liste originale qui est traitée par la fonction.

6.6 Les tuples

Pour éviter le problème des listes que l'on modifie sans le vouloir, Python permet de définir des tuples, qui sont des séquences immutables. Un tuple est déclaré avec des parenthèses, comme ceci :

```
ma_coordonnee = (-3, 4) #ceci est un tuple qui contient deux entiers
```

En réalité, en l'absence de parenthèses, toute collection est automatiquement considérée comme un tuple en Python. Ainsi, la dernière instruction peut aussi s'écrire :

```
ma_coordonnee = -3, 4
```

Comme un tuple est immutable, on ne peut dynamiquement lui ôter ou lui ajouter des éléments.

La longueur d'un tuple peut être obtenue via la fonction `len` tout comme pour les listes ; tout comme pour les listes, on peut accéder aux éléments d'un tuple avec les crochets.

Il est conseillé d'utiliser des tuples autant que possible lorsque vous avez à faire à des collections de taille fixe.

Enfin, une nuance importante est à préciser : les éléments d'un tuple, eux, ne sont pas nécessairement immutables. Par exemple, le tuple suivant contient deux listes qui sont elles-mêmes mutables :

```
a = ([3, 4], [8, 7])

a[0].append(2)

print(a)#Affiche ([3, 4, 2], [8, 7]) mais la longueur de a n'a pas changé
```

À l'inverse, une liste peut très bien contenir des listes ou des tuples, par exemple pour représenter les coordonnées de personnages à l'écran dans un jeu-vidéo. Il est possible d'itérer sur des listes de listes (ou une liste de tuples) de la façon suivante :

```
coords = [(2,3), (10,10), (0,23), (3,4)]
for x,y in coords:
    print(x,y)
```

Ce dernier code est équivalent à :

```
coords = [(2,3), (10,10), (0,23), (3,4)]
for c in coords:
    print(c[0], c[1])
```

Ou encore :

```
coords = [(2,3), (10,10), (0,23), (3,4)]
for i in range(len(coord)):
    print(coords[i][0], coords[i][1])
```

6.7 Accéder à des parties d'une liste

L'exemple ci-dessous montre comment accéder à des sous-listes spécifiques :

```
ma_liste = [233, 34, 6, 23.4, 45, 65]
print(ma_liste[0:3]) #affiche 233, 34, 6
print(ma_liste[-1]) #affiche le dernier élément (65)
print(ma_liste[3:-1]) #affiche 23.4, 45, 65
print(ma_liste[0:4:2]) #affiche un élément sur deux, de l'indice 0 à 3
print(ma_liste[2:]) #affiche tous les éléments depuis l'indice 2
```

Imaginons que nous voulions accéder à un élément sur deux d'une liste. Voici deux façons de le faire. La première façon est d'utiliser la fonction `range(a,b,delta)`, qui génère les entiers de a à b en incrémentant de *delta* à chaque fois.

```
ma_liste = [233, 34, 6, 23.4, 45, 65]
for i in range(0,len(ma_liste),2): #incrémente de 2 en 2
    print(ma_liste[i])
```

La seconde façon de faire est d'itérer directement sur une sous-liste contenant un élément sur deux :

```
ma_liste = [233, 34, 6, 23.4, 45, 65]
for nombre in ma_liste[0:-1:2]:
    print(nombre)
```

Chapitre 7

Manipulation des chaînes de caractères

Les chaînes de caractères, déjà abordées dans le chapitre sur les variables (chapitre 2), peuvent être vues comme des listes de caractères (d'où leur nom). Ainsi, la plupart des méthodes de manipulation des listes s'appliquent également pour les strings ! Il existe cependant une différence importante : les strings sont mutables (voir 6.5), c'est-à-dire qu'on ne peut jamais modifier un string une fois qu'il a été déclaré. Dans un tel cas, on utilisera plutôt une copie de ce string.

Pour obtenir la longueur d'une chaîne, on utilise la fonction len() :

```
x = "Bonjour"
n = len(x) # n contient maintenant la valeur 7
```

Pour savoir si une chaîne contient un caractère ou une suite de caractères, on utilise le mot-clé `in` :

```
x = "Bonjour"
if "o" in x:
        print(x, "contient au moins un o")
if "our" in x:
        print(x, "contient au moins un our")
```

Pour compter le nombre d'apparitions d'un caractère ou d'une suite de caractères à l'intérieur d'une chaîne, on utilise la méthode count() :

```
x = "Bonjour"
n_o = x.count("o") # n_o vaut 2
n_r = x.count("r") # n_r vaut 1
n_z = x.count("z") # n_z vaut 0
```

Pour obtenir une copie d'un string où chaque **occurence** de `x` est remplacée par `y`, on utilise `replace(x,y)` :

```
mot1 = "Bonjour"
mot2 = mot1.replace("o", "e") #mot2 contient "Benjeur"
```

Il existe encore bien d'autres fonctionnalités que nous n'abordons pas ici, mais qui sont disponibles dans la documentation de Python sur le web.

Exercice 7.0

Créez une liste de strings nommée `liste_des_mots` contenant les mots suivants : "exceptionnel", "electronique", "pomme", "mangue", "partez", "mangez", "carotte", "pois", "la", "kiwi". Cette liste sera utilisée dans certains des exercices suivants.
Affichez la longueur de la liste dans la console.

Exercice 7.1

Affichez la longueur de chaque mot contenu dans `liste_des_mots`

Exercice 7.2

Pour chaque mot dans `liste_des_mots`, affichez le nombre de "e" qu'il contient.

Exercice 7.3

Pour chaque mot dans `liste_des_mots`, si ce mot contient un "a" et ne contient pas de "z", affichez sa longueur.

Exercice 7.4

Pour chaque mot dans `liste_des_mots`, si ce mot contient un "z", affichez le nombre d'apparitions de chacun des caractères du mot.

Exercice 7.5

Pour chaque mot dans `liste_des_mots`, affichez son score. Le score d'un mot est donné par la formule suivante :

$$score = 10(nombre\_de\_x + nombre\_de\_y + 0.3 \cdot nombre\_de\_z)$$

Exercice 7.6

Pour chaque mot dans `liste_des_mots`, affichez son score. Le score d'un mot est la somme du score de chacune de ses lettres. Les voyelles comptent pour 1 point, sauf le "y". Les consonnes comptent pour deux points, sauf le "y" et le "x" qui comptent pour 3, et le "k" et "w" qui comptent pour 4.

Exercice 7.7

Pour chaque mot dans `liste_des_mots`, affichez chacune de ses lettres en indiquant son score (voir exercice 6) entre parenthèses. Si l'un de ces scores est supérieur à deux, affichez également "joli !". Par exemple, pour le mot, "kiwi", l'output doit être :

```
k (4) joli !
i (1)
w (4) joli !
i (1)
```

Exercice 7.8 – morse (Hors programme)

Créez une application qui convertit un texte en morse. L'input de l'utilisateur peut contenir les 26 lettres latines majuscules (sans accents) ainsi que l'espace vide. Veuillez vous documenter sur l'utilisation du Morse sur Wikipédia : `https://fr.wikipedia.org/wiki/Code_Morse_international`. Il est conseillé d'utiliser un **dictionnaire Python** pour réaliser cet exercice (cf. chapitre correspondant). Dans cet exercice, vous utiliserez les espaces vides pour délimiter les lettres. Par exemple, si l'input de l'utilisateur est « chat », alors l'output doit être « -.-. .... .- - ».

Exercice 7.9 – Scrabble (Hors programme, travail de longue haleine)

Cherchez les règles du Scrabble sur internet et implémentez le score exact d'un mot donné par l'utilisateur (en imaginant que c'est le premier mot à être posé dans le jeu). Le mot peut être donné en input par l'utilisateur.

Exercice 7.10 – Pendu (Hors programme, difficile !)

Programmez un jeu du pendu où l'utilisateur doit deviner le mot. Le mot est choisi au hasard parmi ceux que vous définirez en tant que programmeur. Plutôt qu'un dessin, une étoile est affichée à l'écran pour chaque faute. Au bout de 8 fautes, le joueur a perdu.

Exercice 7.11 — Fouiller dans le dictionnaire

Un petit dictionnaire des mots français (sans accents) est mis à disposition sur Classroom sous le nom de fichier `french.txt` (source : freelang.com).
Voici comment générer la liste des mots en Python (il faut absolument que le fichier des mots soit dans le même dossier que le script Python) :

```
with open("french.txt","r") as f:
    words = f.readline().split(",")
```

A) Affichez tous les termes de plus de 15 caractères.
B) Affichez tous les termes de moins de 3 caractères.
C) Affichez le plus long « terme » de ce dictionnaire.
D) Affichez tous les termes qui contiennent deux k.

Exercice 7.12 — Faux Scrabble

A) Le but de cet exercice est de trouver le mot de la langue française qui, en théorie, donnerait le meilleur score, si l'on associe à chaque lettre de l'alphabet un score qui correspond à son numéro dans l'alphabet : $a = 1$, $b = 2$, ..., $z = 26$. Par exemple, le mot « la » vaut $12 + 1 = 13$ points. Tous les caractères qui ne sont pas des lettres (par exemple les tirets, comme dans « rendez-vous » ou les espaces, comme dans « blanc d'oeuf ») comptent pour 0 points.

B) Quel est le mot avec le plus petit score ?

C) Quel est le plus long mot de ce dictionnaire ?

Exercice 7.13 — Hacking

Trouvez le mot de passe de Bob, sachant que son mot de passe fait 9 caractères de long, que la troisième lettre est un « c » et que la dernière lettre est un « i ».

Exercice 7.14 — Mots-croisables

Trouvez la liste des couples de mots qui peuvent être « croisés » (comme dans un mot-croisés, un mot vertical et un mot horizontal). Il faut que la lettre de croisement soit la dixième lettre de chaque mot. Le premier mot doit contenir un « z » et le second mot doit contenir un « k ».

Exercice 7.15 — Mots sans répétitions

A)Trouvez le nombre de mots du dictionnaire qui ne comportent que des caractères différents, c'est-à-dire dont aucun caractère n'est répété. Par exemple, « zone » ne possède pas de caractère répété, tandis que « zoo » possède un caractère répété.

B) Quel est le plus long mot sans caractère répété ?

Exercice 7.16 — Palindromes

A) Affichez tous les termes qui sont des palindromes. Exemples de palindromes : « radar », « solos ».

B) Quel est le plus long palindrome ?

Chapitre 8

Nombres pseudo-aléatoires

Dans biens des applications (cryptographie, jeux-vidéos, sciences, ...) il est très pratique de pouvoir utiliser des nombres aléatoires. Par exemple, pour placer un millier d'arbres dans une forêt d'un jeu-vidéo, il est préférable d'utiliser l'aléatoire que de choisir manuellement l'emplacement exact de chaque arbre.

Dans tout ce chapitre, nous entendrons « pseudo-aléatoire » à chaque fois que nous dirons « aléatoire » : en effet, la méthode par défaut de génération des nombres aléatoires utilisés par la plupart des machines modernes [1] est déterministe : en partant d'une valeur initiale appelée « seed » (graine), la suite des nombres aléatoires générés par l'algorithme est entièrement déterminée et reproductible (ce qui est bien pratique en sciences ou encore dans des jeux où la génération du monde doit être à la fois aléatoire et reproductible (*e.g.* Minecraft).

En Python, le module built-in [2] `random` contient de nombreuses fonctions pour effectuer un traitement aléatoire des données. Nous n'en voyons ici que deux. Dans tous les codes qui suivent, nous supposerons que la première ligne contient l'instruction :

```
import random
```

8.1 Génération d'un `int` aléatoire

Pour générer un nombre entier aléatoire entre deux bornes, il existe la fonction `randint` :

```
a = random.randint(-5, 5) #a contient mainteant un nombre entre -5 et 5
b = random.randint(0, 100) #b contient mainteant un nombre entre 0 et 100
```

1. il existe des méthodes basées sur des processus physiques réellement aléatoires (dans la mesure d'un cadre philosophique donné), mais nous n'en parlons pas ici.
2. c'est-à-dire présent par défaut avec votre version de Python et n'ayant donc pas besoin d'être installé.

```
print(a, b)
```

Il est très important de comprendre que :

1. La valeur contenue dans les variables aléatoires ne peut pas être connue avant l'exécution du code.
2. Si l'on exécute le code plusieurs fois, il est probable que le résultat soit différent à chaque fois.

Exercice 8.0

Demandez deux nombres entiers à l'utilisateur, puis affichez un nombre entier au hasard compris entre ces deux nombres.

Exercice 8.1

Tirez dix nombres au hasard entre 1 et 10, puis affichez leur somme.

Exercice 8.2

Tirez mille nombres au hasard entre 1 et 100, puis affichez leur moyenne.

Exercice 8.3

Générez une « forêt » de coordonnées en 2D. Pour cela, affichez dans la console 100 coordonnées $(x; y)$ tirées au hasard. Chaque coordonnée représente un pixel de l'écran. La valeur x doit être comprise entre 0 et 1920 et la valeur y entre 0 et 1080 (écran HD).

Exercice 8.4 – Choix au hasard dans une liste

Déclarez une liste de strings contenant 5 prénoms. Ensuite, affichez l'un de ces prénoms au hasard (chaque prénom doit avoir autant de chances que les autres d'apparaître).

Pour aller plus loin : choix d'un élément au hasard au sein d'une liste

Pour choisir un élément au hasard au sein d'une liste, on peut utiliser la fonction `choice` du module `random` :

```
couleurs = ["rouge", "vert", "bleu", "jaune", "noir"]
couleur_hasard = random.choice(couleur) #choisit une couleur au hasard
print(couleur_hasard)
```

Exercice 8.5 – Jets de dés

Proposez à l'utilisateur de jeter un dé virtuel à 6 faces (s'il écrit « ok », on jette le dé, sinon on quitte l'application). Tant que le dé ne tombe pas sur la valeur 3, l'utilisateur peut continuer de jouer. Dès qu'il tombe sur 3, la partie est finie et le score du joueur est affiché. Le score vaut la somme des valeurs obtenues par le joueur.

Exercice 8.6 – Générateur de phrases

Déclarez trois listes. Une liste contient des sujets de phrases au singulier (« Je », « Tu », « Il », « Alice », etc...). Une seconde liste contient des verbes et un éventuel complément (« mange », « danse avec », « déteste », etc...). Une troisième liste contient des compléments de phrases (« les pommes », « les carottes », « les insectes », etc...). Générez 10 phrases aléatoires à partir de ces listes.

Exercice 8.7 – Statistiques sur les dés

Simulez 1 million de jets de dé à 6 faces. Quelle est la moyenne de la valeur obtenue ? Quel pourcentage des lancers obtient-on la valeur 6 ? Quel pourcentage des lancers obtient-on exactement trois fois la valeur 6 de suite ?

Exercice 8.8 – Statistiques sur les dés – Version difficile !

Simulez 1 million de jets de dé à 6 faces. Combien de fois obtient-t-on trois 6 à la suite ? Quel est environ le pourcentage de chance d'obtenir un triplet d'après cette expérience ? Y a-t-il une fois où l'on obtient dix 6 à la suite ?

8.2 Génération d'un `float` aléatoire

Pour générer un nombre aléatoire entre 0 et 1, il existe la fonction `random` :

```
a = random.random() #a contient mainteant un nombre entre 0 et 1
print(a)
```

Exercice 8.9

Affichez un float aléatoire entre 0 et 100

Exercice 8.10

Affichez un float aléatoire entre 3 et 8

Exercice 8.11

Affichez un float aléatoire entre -6 et 8

Exercice 8.12

Demandez deux nombres entiers à l'utilisateur, puis affichez un float au hasard compris entre ces deux nombres.

Exercice 8.13 – Approximation π – Difficile !

Tirez un millions de paires de float aléatoires entre 0 et 1. Si ces nombres constituent des coordonnées, combien se situent à une distance plus petite que 1 de l'origine ? Déduisez-en la valeur approximative de π.

Chapitre 9

Pour aller plus loin

Les concepts présentés dans ce chapitre ne figurent pas au programme. Ils peuvent toutefois s'avérer très utiles pour la suite de votre apprentissage de la programmation en Python. Nous n'en donnons ici qu'un aperçu extrêmement simplifié et superficiel ; le but est simplement de vous donner une idée de ce qu'il est possible de faire avec ces différents outils, afin que vous sachiez qu'ils existent et que vous puissiez les utiliser si vous en avez besoin, après avoir davantage approfondi le sujet en utilisant des ressources externes.

9.1 Les dictionnaires

Dans un précédent chapitre, nous avons vu comment utiliser des listes en Python. Si les listes sont utiles pour toute une famille de problèmes, il en existe certains pour lesquels elle ne sont pas bien adaptées. Prenons l'exemple suivant : on veut constituer un lexique de traductions de mots du français à l'anglais. Avec des listes, on pourrait avoir un code du type :

```
french = ["chat", "voiture", "deux", "rouge"]
english = ["cat", "car", "two", "red"]
```

Cependant, cette approche comporte deux défauts majeurs. Le premier est que l'ordre des mots d'une liste doit toujours concorder avec ceux de l'autre. La moindre erreur rend tout le reste du lexique faux ! Le second défaut est qu'il n'est pas aisé de récupérer la traduction d'un mot donné, car il faut d'abord repérer l'indice de ce mot au sein de sa liste, avant d'aller chercher le mot de même indice dans la liste de l'autre langue.

Une approche utilisant un **dictionnaire** s'avère alors plus simple à utiliser, car un dictionnaire sert précisément à **faire le lien entre des clés et des valeurs** :

```
traduction = {"chat":"cat", "voiture":"car", "deux":"two", "rouge":"red"}
```

Pour récupérer la valeur associée à la clé « voiture », par exemple, il suffit d'y accéder en utilisant des crochets :

```
traduction = {"chat":"cat", "voiture":"car", "deux":"two", "rouge":"red"}
trad_voiture = traduction["voiture"]
print(trad_voiture) #affiche "car"
```

D'une façon générale, on peut maintenant accéder à n'importe quelle clé demandée par l'utilisateur.

Dans le cas où l'on essaie d'accéder à une clé qui n'existe pas dans le dictionnaire, Python génère une erreur. Il est donc important de gérer ce genre de cas. Deux approches sont possibles. La première est de vérifier si la clé existe dans le dictionnaire :

```
traduction = {"chat":"cat", "voiture":"car", "deux":"two", "rouge":"red"}
mot = input("Quel mot voulez-vous traduire?")
#ici, pas de garantie que le mot soit dans notre lexique
if mot in traduction:
    print("Votre mot se traduit:", traduction[mot])
else:
    print("Votre mot n'est pas dans le lexique")
```

Une autre approche, souvent plus utile, est de faire appel à la méthode `get` des dictionnaires, qui peut prendre deux arguments : la clé à chercher et la valeur à retourner en cas de clé non trouvée. Voici un exemple :

```
traduction = {"chat":"cat", "voiture":"car", "deux":"two", "rouge":"red"}
mot = input("Quel mot voulez-vous traduire?")
trad_mot = traduction.get(mot, "(???)")
#si la traduction n'existe pas, on affichera des points d'interrogation
print("Traduction de votre mot:", trad_mot)
```

La méthode `get` peut même être utilisée avec un seul argument (la clé) ; dans ce cas, si la clé n'est pas trouvée, `get` retourne la valeur `None` (un type de variable qui permet de refléter le concept de « rien »).

Il est important de noter que, tout comme les valeurs au sein des listes, les valeurs stockées dans le dictionnaire peuvent être de n'importe quel type. Par exemple :

```
prix = {"Pomme":0.5, "Poire":1, "Cerises":2, "Mangue":5}
print(prix.get("Cerises")) #ceci affiche "2"
print(prix.get("Framboises")) #ceci affiche "None"
```

Enfin, il est possible d'itérer sur les clés d'un dictionnaire comme on le ferait sur les valeurs d'une liste :

```
prix = {"Pomme":0.5, "Poire":1, "Cerises":2, "Mangue":5}
for fruit in prix:
    print("L'article", fruit, "coûte", prix[fruit], "CHF")
```

Notons qu'en Python ainsi que dans d'autres langages tels que Javascript, la structure des dictionnaire est si importante qu'elle est en fait utilisée pour représentée des classes d'objets (sujet du prochain chapitre). Par exemple, le code suivant permet de simuler un type d'objet `Livre` pour la gestion d'une bibliothèque, où l'on s'en sert pour afficher automatiquement tous les livres écrits en français :

```
harry_potter = {"titre":"Harry Potter", "auteur":"J.K. Rowling",
                "pages":300, "langue":"Anglais"}
les_miserables = {"titre":"Les Misérables", "auteur":"V. Hugo",
                "pages":900, "langue":"Français"}
belle_du_seigneur = {"titre":"Belle du Seigneur", "auteur":"A. Cohen",
                "pages":800, "langue":"Français"}

tous_les_livres = [harry_potter, les_miserables, belle_du_seigneur]

for livre in tous_les_livres:
    if livre["langue"] == "Français":
        print("Le livre en français", livre["titre"],
              "a été écrit par", livre["auteur"])
```

Exercice 9.0 - Le magasin de bonbons

Créez un dictionnaire pour représenter l'inventaire d'un magasin de bonbons. Les clés sont les types de bonbons et les valeurs sont les nombres en stock. Écrivez une fonction pour afficher le stock d'un bonbon spécifique et une autre fonction pour "acheter" des bonbons, qui réduit le stock.

Exemple d'output :

```
Stock avant achat : { "chocolat" : 20, "bonbon" : 15 }
Achat de 5 chocolats.
Stock après achat : { "chocolat" : 15, "bonbon" : 15 }
```

Exercice 9.1 - Jeu des cris d'animaux

Construisez un dictionnaire où chaque clé est un animal et la valeur associée est le son que l'animal fait. Demandez à l'utilisateur de deviner le son d'un animal choisi au hasard. Vérifiez si la réponse est correcte.

Exemple d'output :

```
Quel son fait le chat ?
Votre réponse : miaou
Correct !
```

Exercice 9.2 - Enquête de popularité

Gérez un dictionnaire pour enregistrer les résultats d'une enquête sur les films préférés. Les clés sont les noms des films et les valeurs sont le nombre de votes. Ajoutez des fonctions pour voter et pour afficher le film le plus populaire.
Exemple d'output :

```
Votes actuels : { "Inception" : 10, "Matrix" : 8 }
Vote pour Inception.
Nouveau total : { "Inception" : 11, "Matrix" : 8 }
Le film le plus populaire est Inception.
```

Exercice 9.3 - Le dictionnaire des synonymes

Créez un dictionnaire des synonymes où chaque clé est un mot et chaque valeur est une liste de synonymes. Proposez une interface pour que l'utilisateur puisse obtenir les synonymes d'un mot donné.
Exemple d'output :

```
Entrez un mot : grand
Synonymes : large, vaste, élevé
```

Exercice 9.4 - Suivi des étudiants

Utilisez un dictionnaire pour suivre les notes des étudiants dans différents cours. Les clés sont les noms des étudiants et les valeurs sont d'autres dictionnaires contenant les noms des cours et les notes. Ajoutez des fonctions pour ajouter des notes, calculer la moyenne des notes de chaque étudiant, et afficher les résultats.
Exemple d'output :

```
Notes de Alice : { "Maths" : 5, "Physique" : 4 }
Moyenne de Alice : 4.5
```

Exercice 9.5 - Transformation en liste

Ecrivez un code qui transforme les couples clé-valeur d'un dictionnaire en une liste de tuples à 2 éléments, puis affichez le minimum ces valeurs. Les clés sont des strings et les valeurs des nombres.
Exemple d'output :

```
dictionnaire : { "Maths" : 5, "Physique" : 4 }
réponse : [("Maths", 5), ("Physique", 4)] minimum : 4 en Physique
```

9.2 Les classes

Nous touchons ici à un sujet très sensible au sein des communautés de développeurs. Par ailleurs, le sujet des classes et de leur utilisation au sein de l'architecture des logiciels est un sujet très vaste, au sujet duquel de nombreux ouvrages ont été écrits. Nous nous contenterons ici de donner une introduction très superficielle à ce concept, sans entrer

dans les détails. Par ailleurs, dans le cadre de ce cours qui s'adresse aux débutants, nous recommandons d'utiliser les classes en tant que « regroupeurs des données », et non en tant qu'objets qui servent à implémenter des concepts de programmation orientée objet (cf. plus bas). Notre utilisation des classes se cantonne à une structuration du code qui permet de simplifier la vie du programmeur. Cependant, de nombreuses personnes sur le Web ne partageront pas cet avis [1], y compris au sein de cours prestigieux ; il ne faut donc pas s'étonner de la disparité d'opinions et de pratiques sur le sujet.

Dans le paysage général de la programmation et du génie logiciel, les classes sont souvent associées aux langages dits *orientés objets*. Cependant, il est tout à fait possible, comme en Python, d'utiliser des classes en tant que simples structures de données, sans adhérer à la philosophie de la programmation orientée objet. Il serait d'ailleurs impossible d'y adhérer parfaitement en Python, étant donné que le langage ne permet pas de restreindre l'accès aux attributs d'une classe (concepts de *private* et *public* et d'*encapsulation*).

Par ailleurs, les classes sont souvent associées au concept d'héritage, que nous ne couvrons pas ici. D'une façon générale, nous conseillons vivement de limiter l'héritage de classes autant que possible car cela rend le code plus difficile à comprendre et à maintenir, à moins que l'on ait minutieusement réfléchi à l'architecture du code, et ce dans les types de problèmes qui s'y prêtent. L'héritage multiple en revanche est à éviter tout à fait, car il rend le code très difficile à comprendre.

9.2.1 Définition d'une classe

Une classe est une structure de données qui permet de regrouper des données et des fonctions qui agissent sur ces données, que l'on appelera des **méthodes**. Voici un exemple simple de classe en Python :

```
class Personnage:
    def __init__(self, nom, age):
        self.nom = nom #'self' sert à désigner l'objet dont on parle
        self.age = age
```

Ce code définit en quelque sorte le « chablon » de ce que doit être un personnage dans notre code. Pour créer un personnage, il suffit d'**instancier** la classe `Personnage` en lui passant un nom et un âge :

```
p1 = Personnage("Alice", 25) #p1 correspond à Alice, 25 ans
p2 = Personnage("Bob", 30) #p2 correspond à Bobe, 30 ans
```

Notons que la classe `Personnage` qui possède deux **attributs**, `nom` et `age`. L'attribut `nom` est initialisé avec la valeur de la variable `nom` passée en argument lors de la création d'une

1. Cela concerne en particulier les cours écrits dans les années 90-2000, où le paradigme orienté objet était particulièrement populaire. Le langage Java est l'emblème de cette époque et demeure extrêmement utilisé dans les entreprises en raison de la popularité qu'il a connu à cette époque.

instance de la classe, et de même pour l'attribut `age`. La méthode `__init__(self, ...)` est une méthode spéciale en Python qui est appelée lors de la création d'une instance de la classe. Elle est souvent utilisée pour initialiser les attributs de la classe.

Dans ce cas, les classes sont utiles car cela nous évite de devoir maintenir deux listes séparées pour les noms et les âges des personnages. De plus, cela nous permet de regrouper les données et les fonctions qui agissent sur ces données, ce qui rend le code plus lisible et plus facile à maintenir. En effet, on peut définir des fonctions appelées « méthodes » qui agissent sur les données de la classe. Par exemple, on pourrait ajouter une méthode `decrire` à notre classe `Personnage` pour afficher de manière personnalisée les informations sur un personnage :

```
class Personnage:
    def __init__(self, nom, age):
        self.nom = nom
        self.age = age

    def decrire(self): #les méthodes ont toujours "self" en premier arg.
        print("Je me nomme", self.nom, "et j'ai", self.age, "ans.")

p1 = Personnage("Alice", 25)
p1.decrire() #affiche "Je me nomme Alice et j'ai 25 ans."
```

Tout comme les fonctions, les méthodes peuvent prendre des arguments et retourner des valeurs. Dans le code ci-dessous, on définit une méthode nommée `calcul_age(annee)` qui prend en argument une année et retourne l'âge du personnage lors cette année-là :

```
class Personnage:
    def __init__(self, nom, age_en_2024):
        self.nom = nom
        self.age = age_en_2024

    def calcul_age(self, annee):
        return annee - 2024 + self.age

p1 = Personnage("Alice", 25)
age_en_2030 = p1.calcul_age(2030)
print("Alice aura", age_en_2030, "ans en 2030.")
```

9.3 Les modules et les packages

Il est en général bon de structurer les projets en plusieurs fichiers ou dossiers afin de séparer clairement la responsabilité des différentes parties du code. Par exemple, dans un jeu vidéo, on pourrait trouver un fichier nommé `main.py` qu'il faut lancer pour lancer le jeu, ainsi qu'un fichier `personnage.py` qui contient la définition des personnages du jeu, et

un fichier `levels.py` qui contient la définition des niveaux du jeu. Au sein de `main.py`, on pourrait importer la classe `Personnage` du fichier `personnage.py` de la manière suivante :

```
from personnage import Personnage
```

Il est également possible d'importer toutes les classes et fonctions d'un fichier en utilisant l'étoile, mais nous décourageons cette pratique car cela empêche de savoir d'où vient quel objet, ce qui peut mener à des confusions, surtout dans les grands projets.

```
from personnage import *
```

Enfin, on peut simplement importer le module entier :

```
import personnage
```

Dans ce cas, on doit préciser le nom du module suivi d'un point pour accéder à ses classes et fonctions :

```
p1 = personnage.Personnage("Alice", 25)
```

Tout ce que l'on vient de dire ne fonctionne que si les fichiers figurent dans le même répertoire. La gestion des modules est un sujet complexe qui dépasse le cadre de ce cours, nous donnons ici les bases pour que vous puissiez commencer à structurer vos projets de manière plus claire.

Enfin, il faut savoir que vous avez déjà utilisés des modules externes. Pour être plus précis, à chaque fois que nous avons utilisé des librairies telles que math, random ou turtle, nous avons importé des modules ou bien des **packages**, qui sont simplement des collections de plusieurs modules. Il est possible d'installer des packages externes en utilisant le gestionnaire de paquets pip, qui est installé par défaut avec Python. Par exemple, pour installer le module `pygame`, il suffit de taper la commande suivante dans un terminal :

```
pip install pygame
```

Une fois le module installé, vous pouvez l'importer dans votre code comme s'il s'agissait d'un module standard, dans le même dossier que votre code.

Exercice 9.6 - Création de module simple

Créez un module Python nommé `utils.py`. Dans ce module, définissez une fonction `saluer()` qui prend un nom en paramètre et retourne une salutation, "Bonjour {nom}". Ensuite, dans un fichier `main.py`, importez ce module et utilisez la fonction `saluer()` pour afficher une salutation.

Exercice 9.7 - Structurer un package

Organisez un petit package Python nommé `jeu`. Ce package doit contenir deux modules : `personnages.py` et `niveaux.py`. Le module `personnages.py` doit contenir une classe `Personnage` avec des attributs comme `nom` et `force`. Le module `niveaux.py` doit définir une classe `Niveau` avec des attributs comme `difficulte` et `monstres`. Assurez-vous d'inclure un fichier `__init__.py` (laissez-le vide) pour que Python traite le dossier comme un package. Dans un fichier `main.py` externe au package, importez et utilisez les classes définies.

9.4 Gestion des environnements avec venv

Lorsque vous travaillez sur des projets Python plus importants, surtout en collaboration, il est crucial de maintenir l'isolation de l'environnement de votre projet pour éviter les conflits entre les dépendances. Python offre un outil intégré nommé `venv`, qui permet de créer des environnements virtuels. Voici comment créer et activer un environnement virtuel sous Windows :

```
python -m venv mon_projet_env
mon_projet_env\Scripts\activate
```

Une fois l'environnement activé, toutes les installations de packages effectuées avec `pip` seront limitées à cet environnement, sans affecter les autres projets ou le système global.

9.5 Les graphiques avec Matplotlib

Matplotlib est une librairie (package) populaire qui permet de créer des graphiques et toutes sortes de visualisations en Python. Voici un exemple simple de code qui permet de visualiser des données y en fonction de données x :

```
import matplotlib.pyplot as plt

# Dans cet exemple, on écrit directement les coordonnées des points
x = [1, 3, 4, 5, 7]
y = [1, 2, -3, 5, 2]

# Utilisation de Matplotlib
plt.plot(x, y, "o-")
plt.xlabel('x')
plt.ylabel('y')
plt.show()
```

De même, il est aisé de tracer des fonctions mathématiques. Par exemple, pour tracer la fonction $f(x) = (x-3)^2 + 1$ sur l'intervalle $[-5, 10]$:

```
import matplotlib.pyplot as plt

x = list(range(-5, 11))
y = [(i-3)**2 + 1 for i in x]

plt.plot(x, y, "--")
plt.xlabel('x')
plt.ylabel('y')
plt.grid()
plt.show()
```

Dans les exemples précédents, on s'est servi du troisième argument de la fonction plot pour spécifier le style du tracé. On peut le faire varier, ainsi que spécifier des labels pour les différents tracés. Par exemple :

```
import matplotlib.pyplot as plt

x = list(range(-5, 11))
y1 = [(i-3)**2 + 1 for i in x]
y2 = [3*i for i in x]

plt.plot(x, y1, "r", label="quadratique")
plt.plot(x, y2, "b", label="linéaire")
plt.xlabel('x')
plt.ylabel('y')
plt.grid()
plt.legend()
plt.show()
```

Enfin, il est possible de combiner plusieurs graphiques au sein d'une même figure, comme dans l'exemple suivant :

```
import matplotlib.pyplot as plt

# Données pour les graphiques
x = list(range(1,200,10))
y_lin = [2*i for i in x]
y_quad = [i**2 for i in x]  # Fonction quadratique

# Création de la figure et des axes (# 1 ligne, 2 colonnes)
fig, (ax1, ax2) = plt.subplots(1, 2, figsize=(10, 4))

# Premier plot
```

```
ax1.plot(x, y_lin, 'r-')  # 'r-' pour une ligne rouge
ax1.set_title('Fonction Linéaire')
ax1.set_xlabel('x')
ax1.set_ylabel('y')

# Deuxième plot
ax2.plot(x, y_quad, 'b-')  # 'b-' pour une ligne bleue
ax2.set_title('Fonction Quadratique')
ax2.set_xlabel('x')
ax2.set_ylabel('y')

# Affichage des graphiques
plt.tight_layout()  # Ajuste automatiquement les sous-graphiques
plt.show()
```

La librairie propose de nombreuses autres options, notamment pour créer des histogrammes ou visualiser des champs de valeurs, que le lecteur peut aisément explorer en consultant la documentation officielle de Matplotlib ou les ressources disponibles sur Internet.

Exercice 9.8 - Création de graphiques simples

Créez deux graphiques simples en utilisant Matplotlib. Le premier doit tracer une fonction linéaire $y = 2x + 1$ pour x allant de -10 à 10. Le second doit tracer une fonction exponentielle $y = e^x$ sur le même intervalle. Utilisez des couleurs et des styles de lignes différents pour chaque graphique.

Exercice 9.9 - Graphiques côte à côte

Utilisez Matplotlib pour créer une figure contenant deux graphiques côte à côte. Le premier graphique doit afficher une parabole $y = x^2$ et le second une fonction cubique $y = x^3$. Assurez-vous d'ajouter des légendes et des titres appropriés pour chaque sous-graphique.

Exercice 9.10 - Visualisation d'histogrammes

Générez un ensemble de données normalement distribuées avec une moyenne de 4 et un écart-type de 1, et tracez un histogramme de ces données. Configurez les bins de l'histogramme pour qu'ils reflètent la distribution des valeurs. Ajoutez un titre et des étiquettes aux axes.

Exercice 9.11 - Tir parabolique

En mécanique classique, la trajectoire d'un projectile sans fottement lancé avec une vitesse initiale v_0 à un angle θ par rapport à l'horizontale est donnée par les équations suivantes :

$$x(t) = v_0 \cos(\theta) t$$

$$y(t) = v_0 \sin(\theta) t - \frac{1}{2} g t^2$$

Ecrivez un code qui demande les paramètres initiaux à l'utilisateur puis affiche le graphique de la trajectoire du projectile.

9.6 Lecture et écriture de fichiers

9.6.1 Lecture et écriture de fichiers texte

Lorsqu'on analyse des données en programmation scientifique, il est extrêmement commun de devoir ouvrir des fichiers pour y récupérer des données, ou bien pour y écrire des résultats. Bien qu'il existe des librairies très répandues pour manipuler les fichiers de données ainsi que les données elles-même (notamment, la très célèbre librairie *Panda*), nous examinons ici comment le faire nous-même à partir des fonctions de bases permises par Python.

En Python, il est possible d'ouvrir un fichier en mode lecture ou en mode écriture, en utilisant la fonction `open`. Par exemple, pour ouvrir un fichier en mode lecture :

```
fichier = open("mon_fichier.txt", "r") #ouvre le fichier en mode lecture
lines = fichier.readlines() #récupère les lignes du fichier
fichier.close() #ferme le fichier
```

Cependant, nous déconseillons fortement d'utiliser cette méthode, car elle ne ferme pas le fichier automatiquement, ce qui peut mener à des problèmes si le programme se termine par erreur avant que le fichier ne soit fermé. Il est préférable d'utiliser la syntaxe suivante, qui garantit que le fichier sera fermé automatiquement :

```
with open("mon_fichier.txt", "r") as fichier:
    lines = fichier.readlines() #récupère les lignes du fichier
```

Comme dit précédemment, il existe de nombreuses librairies pour manipuler automatiquement des données au format .csv, .xlsx, .json, etc. Nous allons nous contenter ici de montrer comment lire et écrire des fichiers textes simples, car cela illustre les fondements de la manipulation de fichier ; ainsi, même dans les cas malheureux où les données ne sont pas correctement formatées, il nous sera possible de construire un traitement automatique de leur contenu.

```
with open("mon_fichier.dat", "r") as fichier:
    lines = fichier.readlines() #on récupère les lignes
    for line in lines:
        print(line) #on affiche chaque ligne
```

Par ailleurs, l'écriture au sein d'un fichier se fait comme suit, sans oublier de convertir en chaîne de caractères toute valeur à écrire dans le fichier :

```
mes_valeurs = [1, 2, 3, 4, 5]
with open("mon_fichier.dat", "w") as fichier:
    for valeur in mes_valeurs:
        fichier.write(str(valeur) + "\n") #\n = retour à la ligne
```

9.6.2 Traitement des exceptions

La plupart des langages de programmation offre des mécanismes qui permettent de gérer les erreurs pouvant survenir lors de l'exécution d'un programme. En Python, cela se fait à l'aide des blocs `try`, `except` et `finally` – la gestion de ces mécanismes sort du cadre de ce cours ; cependant, dans le cas précis de la manipulation de fichiers, nous donnons un aperçu de la démarche à effectuer. Voici un exemple d'utilisation de ces blocs pour gérer les erreurs lors de l'ouverture d'un fichier :

```
try:
    with open("mon_fichier.txt", "r") as fichier:
        lines = fichier.readlines()  # récupère les lignes du fichier
    print("Lecture réussie !")
    print(lines)
except FileNotFoundError:
    print("Erreur : le fichier spécifié n'a pas été trouvé.")
except IOError:
    print("Erreur d'entrée/sortie lors de l'accès au fichier.")
except Exception as e:
    print("Une autre erreur est survenue :", e)
```

9.6.3 Écriture et lecture de structures de données avec Pickle

Pour terminer, notons que le module `pickle`, qui vient nativement avec Python, permet de sauvegarder des objets Python dans des fichiers, et de les recharger par la suite. Cela peut être très utile pour sauvegarder des structures de données standard mais complexes, comme des listes de listes, des dictionnaires, ou des objets de classes personnalisées. Voici un exemple simple d'utilisation de `pickle` :

```
import pickle
ma_liste = [1, 2, 3, 4, 5]
mon_dict = {"a":1, "b":2, "c":3}
with open("mon_fichier.pkl", "wb") as fichier:
    pickle.dump(ma_liste, fichier)
    pickle.dump(mon_dict, fichier)
```

Cela a pour effet d'écrire automatiquement les objets `ma_liste` et `mon_dict` dans le fichier binaire `mon_fichier.pkl`. Pour les recharger, il suffit de faire :

```
with open("mon_fichier.pkl", "rb") as fichier:
    ma_liste = pickle.load(fichier)
    mon_dict = pickle.load(fichier)
```

Exercice 9.12 - Tracé de données réelles

Chargez un ensemble de données depuis un fichier CSV contenant deux colonnes, x et y, et tracez les données dans un graphique à points (scatter plot). Assurez-vous d'ajouter des étiquettes aux axes et un titre au graphique. Utilisez des croix rouges pour symboliser les points.

Exercice 9.13 - Lecture de fichier et traitement des données

Écrivez un script Python qui ouvre un fichier texte nommé `"data.txt"` contenant plusieurs lignes de données numériques, chaque ligne étant séparée par des virgules. Le script doit lire les données, calculer la moyenne de chaque ligne et imprimer ces moyennes.

Exemple d'output :

```
Moyenne ligne 1 : 5.2
Moyenne ligne 2 : 7.3
...
```

Exercice 9.14 - Gestion des erreurs de fichier

Modifiez l'exercice précédent de lecture de fichier pour ajouter la gestion des exceptions. Le script doit gérer les cas où le fichier n'existe pas, où il ne peut pas être lu, ou contient des données non numériques, en affichant un message d'erreur approprié sans interrompre brutalement l'exécution.

Exemple d'output :

```
Erreur : Le fichier spécifié n'existe pas.
ou
Erreur : Données non numériques trouvées.
```

Exercice 9.15 - Écriture dans un fichier avec formatage

Créez un script Python qui génère un fichier `"output.txt"`. Le fichier doit contenir les carrés des nombres de 1 à 10, chaque nombre et son carré étant sur une nouvelle ligne, séparés par une tabulation.
Exemple d'output :

```
1    1
2    4
...
10    100
```

9.7 Les arbres

De nombreux problèmes mathématiques donnent naturellement naissance à des structures en forme d'arbre : les problèmes de dénombrement et de calcul des probabilités constituent peut-être l'exemple le plus frappant.

Par exemple, au sein du chapitre dévolu au fonctions, nous avons proposé comme exercice de générer tous les textes possibles constitués de n lettres parmis les minuscules latines. On peut se convaincre aisément que ces textes peuvent être représentés par un arbre en tentant d'en dessiner les quelques premières branches. Afin de simplifier les dessins, nous allons ici représenter l'exemple où $n = 3$ et où l'alphabet est restreint aux lettres `a`, `b` et `c`.

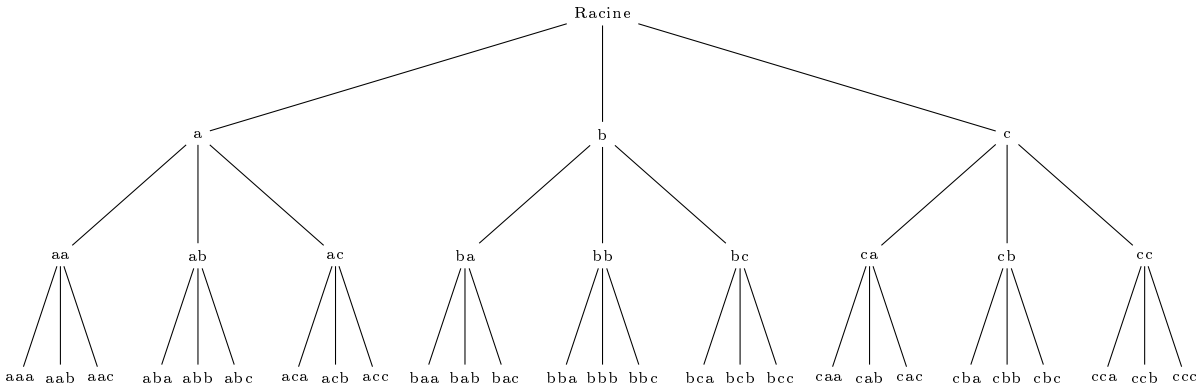


FIGURE 9.1 – Arbre des textes possibles de longueur 3 avec les lettres `a`, `b` et `c`.

9.7.1 Propriétés d'un arbre

Au sein d'un arbre, les noeuds peuvent avoir des enfants (ou descendants) : on place généralement les enfants en-dessous de leur parents, liés par des branches. L'unique noeud qui n'a pas de parent est appelé la **racine** (*root* en anglais). Les noeuds qui n'ont pas d'enfants sont appelés les **feuilles**. La **profondeur** d'un noeud est le nombre d'arêtes

qui le séparent de la racine, et la **profondeur** de l'arbre tout entier est généralement la profondeur maximale. La profondeur de la racine est nulle.

Lorsque tous les noeuds de l'arbre (hormis la racine et les feuille) donnent lieu à k enfants, on dit que le facteur de branchement de l'arbre vaut k. Dans l'exemple ci-dessus, le facteur de branchement vaut 3. Un cas qui revient souvent, surtout en informatique, est celui des arbres binaires, c'est-à-dire des arbres où $k = 2$.

Enfin, notons qu'un arbre possède au plus k^i noeuds au niveau (ou à l'étage) i. Si l'arbre possède une profondeur n, alors le nombre de feuilles est au plus k^n, tandis que le nombre total de noeuds au sein de l'arbre est :

$$k^n + k^{n-1} + ... + k^0 = \sum_{i=0}^{n} k^i = \frac{k^{n+1} - 1}{k - 1} \tag{9.1}$$

9.7.2 Structure de donnée

En utilisant le concept d'attributs précédemment discuté (dans le cas de Python lié au concept de classe), il est possible de définir une structure de donnée pour les arbres. Voici un exemple de classe qui permet de définir un arbre binaire au sein duquel chaque noeud garde une trace de son parent et de ses enfants :

```
class Node:
    def __init__(self, value, parent=None):
        self.parent = parent
        self.valeur = value
        self.left = None
        self.right = None

    def get_root(self):
        if self.parent is None:
            return self
        return self.parent.get_root()

    def set_left(self, value):
        self.left = Noeud(value, parent=self)

    def set_right(self, valeur):
        self.right = Noeud(value, parent=self)
```

Il est alors possible de construire un arbre de la façon suivante, par exemple :

```
racine = Noeud(12)
racine.set_left(7)
racine.set_right(15)
racine.left.set_left(3)
racine.left.set_right(4)
racine.right.set_left(13)
```

Ce dernier code correspond à l'arbre suivant :

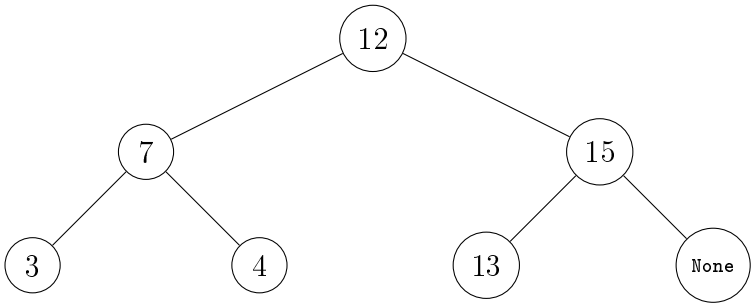


FIGURE 9.2 – Arbre binaire correspondant à l'exemple donné.

9.7.3 Parcours d'un arbre

Reprenons l'exercice du chapitre 4 sur la génération des textes possibles. Nous avons vu qu'il était possible d'écrire une fonction récursive générant tous les arrangements de lettres de longueur n. Cette fonction avait la forme suivante :

```
ALPHABET = "abcdefghijklmnopqrstuvwxyz"
def arrangements_lettres(mot, n):
    if len(mot) == n:
        print(mot)
    else:
        for lettre in ALPHABET:
            arrangements_lettres(mot + lettre, n)
```

Pour générer les arrangements de longueur 3, il suffisait d'appeler la fonction avec une chaîne vide comme premier argument : `arrangements_lettres("", 3)`.

Si l'on examine le fonctionnement de l'algorithme (cf. partie **??**) sous-jacent, on voit que, du fait de la récursivité de la fonction, un abre de facteur de branchement 26 est implicitement construit, en commençant par la profondeur. En effet, d'abord `mot=""`. Ensuite, `mot="a"`, puis avant même d'itérer sur la lettre suivante, `mot="aa"`, puis `mot="aaa"`. C'est uniquement à cet instant que la longueur maximale du mot est atteinte, et que l'on « revient en arrière » via la pile d'appels pour exécuter l'appel récursif sur la deuxième lettre de l'alphabet. Cette façon de parcourir un arbre se nomme le **parcours en profondeur**. Nous verrons dans la partie consacrée aux algorithmes comment formuler un parcours en largeur, voire même un parcours qui dépend d'une stratégie particulière.